Qué.
Not res

H.P.-32

ÉTUDE HYDROLOGIQUE

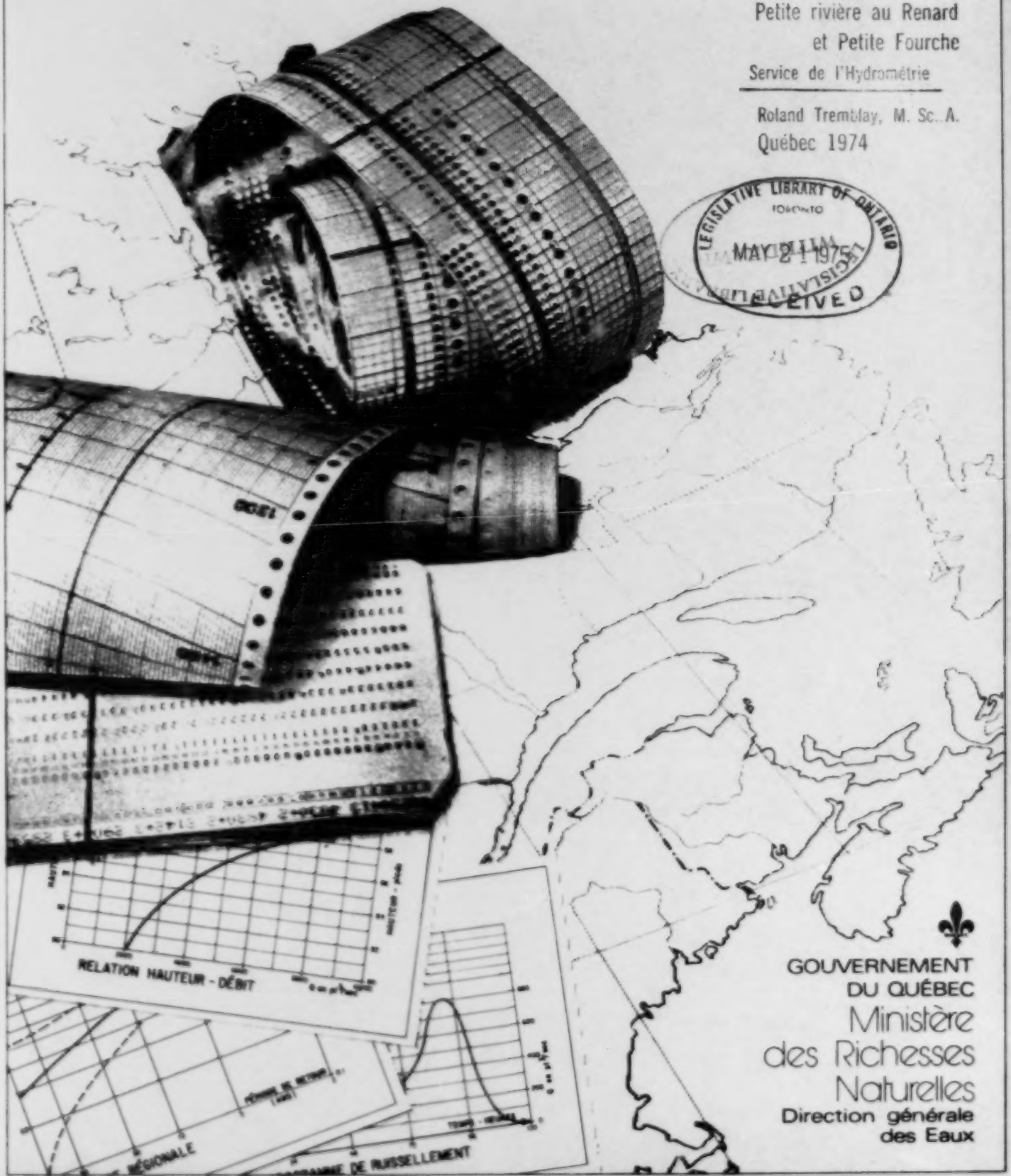
sur les bassins de Petite rivière au Renard et Petite Fourche

Service de l'Hydrométrie

Roland Tremblay, M. Sc. A.

Québec 1974

LEGISLATIVE LIBRARY OF ONTARIO
TORONTO
MAY 21 1975
RECEIVED



GOUVERNEMENT DU QUÉBEC
Ministère des Richesses Naturelles
Direction générale des Eaux

104-04602/

H.P.- 32

ÉTUDE HYDROLOGIQUE
sur les bassins de
Petite rivière au Renard
et Petite Fourche

Roland Tremblay, M. Sc. A.

Service de l'Hydrométrie

Québec 1974

GOUVERNEMENT
DU QUÉBEC
Ministère
des Richesses
Naturelles
Direction générale
des Eaux

TABLES DES MATIERES

I - INTRODUCTION

1 - Objet de l'étude 1
2 - Localisation des bassins étudiés 2
3 - Inventaire des données disponibles 2
1) Données hydrométriques 2
2) Données météorologiques 4
4 - Orientation de l'étude 5

II - ETUDE HYDROMETRIQUE

1 - Estimation des débits, station 020501 8
1) Comparaison des débits moyens mensuels 8
2) Analyse des précipitations 10
2 - Estimation des débits; Pet. riv. Renard, P. Fourche.. 12

III - ANALYSE DES DEBITS

1 - Régime 17
2 - Etude statistique des débits moyens 19
1) Débits annuels 19
2) Débits saisonniers 19
3) Débits mensuels 22
3 - Caractéristiques de crue 30
1) Hydrogramme unitaire, riv. Pet. Fourche 30
2) Hydrogramme unitaire, Pet. riv. Renard 33
3) Courbe en "S" Pet. riv. Renard 33
4) Débits de crue 34

IV - GENERATION DES DEBITS MENSUELS

1 - Analyse de la série observée 39
2 - Choix du modèle de simulation 42
3 - Modèle de simulation de type gamma 45
4 - Vérification du modèle de simulation 47

V - REGULARISATION DES DEBITS

1 - Généralités 53
2 - Paramètres de la régularisation 54
3 - Modèle mécanographique 55
4 - Régularisation 57
1) Analyse des résultats par cycles d'opération ... 57
2) Analyse des résultats par mois 60
5 - Conclusion 62

VI - CONCLUSION 63
BIBLIOGRAPHIE 64
ANNEXE 66

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAUX:

" 1 - Liste des stations ayant servi à cette étude 5
" 2 - Liste des facteurs mensuels de transposition 13
" 3 - Déb. moyens mensuels Pet. riv. Renard..... 15
" 4 - Déb. moyens saison. Pet. riv. Renard..... 16
" 5 - Ordon. l'hydrog. unit. riv. Pet. Fourche, station 020603.. 31
" 6 - Courbe en S ordon. hydrog. unit. Pet. riv. Renard..... 35
" 7 - Déb. moyens mensuels simulés..... 48 & 49
" 8 - Compar. déb. moyens écart-types entre séries transposés... 51
" 9 - Compar. déb. min. & max. séries transp. P. riv. Renard .. 52
" 10 - Régularisation pour l'année 1949-50..... 56

LISTES DES FIGURES

FIGURES:

" 1 - Local. bassins Pet. Fourche, Pet. riv. Renard..... 3
" 2 - Debits moyens spéc. cumul..... 9
" 3 - Régime précipitations bassins comparés..... 11
" 4 - Débits mensuels, année humide, moyen., sèche..... 18
" 5 - Hydraulicité pour des années consécutives..... 20
" 6 - Fréquence de dépassement des débits moyens..... 21
" 7 - Fréquence de dépas. des débits saisonniers..... 23
" 8 - Courbe des débits mensuels classés..... 24
" 9 à 12 - Fréquence de dépas. débits mensuels.....25 à 28
" 13 - Analyse spectrale et corrélogramme..... 29
" 14 - Hydrogramme unitaire de 5 hres, station 020603..... 32
" 15 - Hydrogramme en S, Pet. riv. Renard..... 36
" 16 - Hydrogramme de l'hre Pet. riv. Renard à l'embouchure..... 37
" 17 - Histogramme valeurs standard. positives..... 44
" 18 - Volume d'emmagasinement en pi.3 en fonct. débit à 90 %... 58
" 19 - Courbes d'emmagasiment pour les réserves..... 59
" 20 - Exemple de régularisation, année 1949..... 61

SYMBOLES

a	Premier moment de la série standardisée positive des 27 ans transposés.
α	Niveau de signification.
b	Deuxième moment de la série standardisée positive des 27 ans transposés.
b_1	Troisième moment de la série standardisée des 27 ans transposés.
b_2	Quatrième moment de la série standardisée des 27 ans.
β	Niveau de signification.
g	Paramètre de l'équation gamma.
Γ	Gamma.
$G(x)$	Fonction gamma choisie.
h	Paramètre de l'équation gamma.
ℓ	Lag.
K	Kurtosis.
$L(\alpha)$	Borne pour le test d'Anderson.
m	Moyenne.
mi^2	Mille carré.
m.p.c.	Million de pied cube.
N	Nombre total d'observation.
p.c.	Pied cube.
p.c.s.	Pied cube par seconde.
$\phi(\alpha)$	Fonction normale standardisée.
ρ_K	Coefficient d'autocorrélation.
s	Ecart-type.
T	Asymétrie
VS	Valeurs standardisées des 27 ans transposés.
VSP	Valeurs standardisées positives des 27 ans transposés.
Z	Standardisation de la série gamma.

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Dans sa participation au projet d'alimentation en eau du complexe industriel de pêche à Rivière-Au-Renard, le service de l'hydrométrie du ministère des Richesses naturelles a étudié la disponibilité en eau douce pour la région. Cette analyse a permis d'évaluer la quantité hydrique en surface, de connaître sa variabilité temporelle et de permettre ainsi l'élaboration de projets de régularisation des rivières locales pour l'utilisation optimale de cette ressource.

1.1 Objet de l'étude

L'objectif de cet ouvrage est double. Il analyse d'abord l'hydrologie du bassin de la Petite rivière au Renard et celui de la rivière Petite Fourche dans le comté de Gaspé. Ensuite, il considère la possibilité de fournir un approvisionnement maximal d'eau douce au parc industriel de pêche, projeté dans la municipalité de Rivière-Au-Renard, par l'adduction de la partie supérieure du bassin de la Petite Fourche dans la Petite rivière au Renard.

1.2 Localisation des bassins étudiés

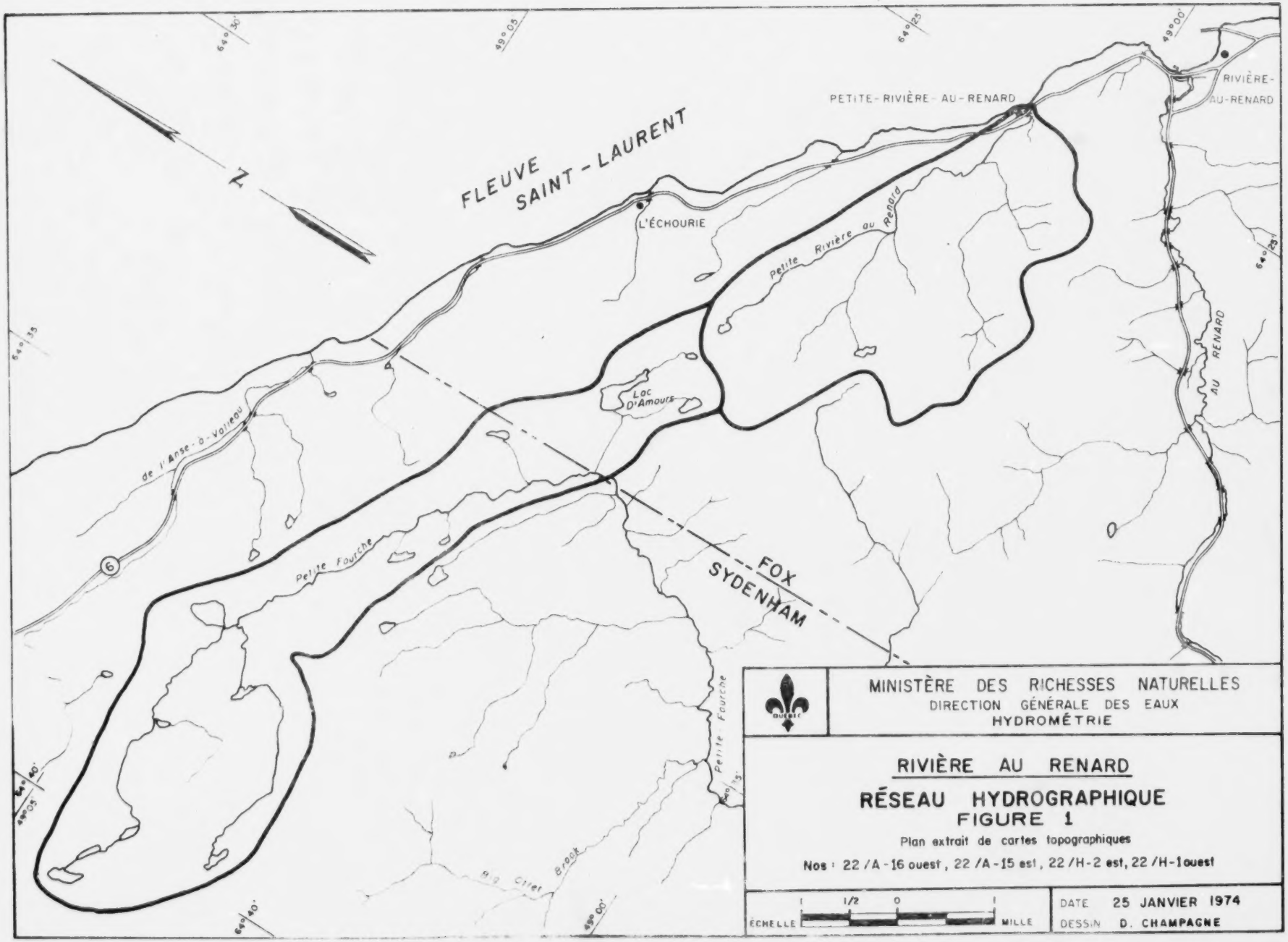
L'embouchure de la Petite rivière au Renard est située dans la localité du même nom, comté de Gaspé, sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent; les coordonnées géographiques à ce site sont approximativement 64° 25' 00" de longitude et 49° 00' 45" de latitude. Le bassin hydrographique de cette rivière est limitrophe de celui de la rivière Petite Fourche, tributaire de la rivière Darmouth. Le confluent de l'exutoire du lac d'Amours dans la rivière Petite Fourche marque la limite inférieure du territoire étudié; les coordonnées de ce site sont 64° 32' 20" de longitude et 49° 02' 20" de latitude.

La figure 1 schématise la forme des deux bassins étudiés et indique sommairement leur situation respective.

1.3 Inventaire des données disponibles

1.3.1 Données hydrométriques

De façon à fournir une solution pertinente, le service de l'Hydrométrie a mis en service au printemps 1973, la station hydrométrique 020603 sur la rivière Petite Fourche immédiatement à l'aval de la décharge du


64°30'
49°05'
64°25'
49°00'
PETITE-RIVIÈRE-AU-RENARD
RIVIÈRE-AU-RENARD
FLEUVE SAINT-LAURENT
N
L'ÉCHOURIE
Petite Rivière au Renard
64°25'
64°35'
Lac D'Amours
de l'Anse-à-Valleau
AU RENARD
6
Petite Fourche
FOX
SYDENHAM
O
64°40'
49°05'
Petite Fourche
64°35'
Big Otter Brook
64°40'
49°00'
MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES
DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX
HYDROMÉTRIE
RIVIÈRE AU RENARD
RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE
FIGURE 1
Plan extrait de cartes topographiques
Nos : 22/A-16 ouest, 22/A-15 est, 22/H-2 est, 22/H-1 ouest
ÉCHELLE 1 1/2 0 1 MILLE
DATE 25 JANVIER 1974
DESSIN D. CHAMPAGNE

du lac d'Amours. La superficie du bassin versant à cet endroit est de 11.45 milles carrés, alors que le bassin de la Petite rivière au Renard est de 7.3 milles carrés où aucun renseignement hydrologique n'est disponible.

Vu l'absence de données hydrométriques locales à long terme, les résultats de l'étude sont corrélatifs des données historiques sur les rivières avoisinantes. Le tableau I liste les stations utilisées dans l'étude.

1.3.2 Données météorologiques

Le service de Météorologie opère la station 7052528 dans la localité de Rivière-Au-Renard depuis 1958. Les stations de Gaspé, Cap Madeleine et Murdochville ont aussi permis de reconstituer l'histoire des précipitations régionales. Nous avons porté au tableau I la nomenclature de ces stations pluviométriques.

1.4 Orientation de l'étude

Puisque les bassins étudiés sont très petits relativement à ceux des rivières régionales jaugées, la transposition des données hydrométriques de l'un à l'autre devra

Stations hydrométriques:

Station numéro	Rivières	Superficie du bassin versant ($mi.^2$)	Période de documentation
011002	Cascapédia	923	1967-1973
011201	Nouvelle	440	1964-1973
020401	York	390	1945-1973
020501	Au Renard	28	1971-1973
020601	Darmouth	287	1945-1973
020802	Madeleine	470	1953-1973
021601	Matane	636	1926-1973
021702	Blanche	80.4	1967-1973

Stations météorologiques:

Station numéro	Nom	Date de la mise en service
7052528	Rivière-Au-Renard	1958
7052600	Gaspé	1919
7055380	Murdochville	1952
7011045	Cap-Madeleine	1920

Tableau I: Liste des stations ayant servi dans cette étude.

être employée avec circonspection. D'abord on comparera les données à long terme des rivières à caractère régional avec celles de rivière au Renard où nous possédons un an et demi d'enregistrements et l'on retiendra les valeurs de la station donnant la meilleure corrélation. Dans une étape subséquente, on transposera ces valeurs à la rivière Petite Fourche en se basant sur les données recueillies à la station 020603. Finalement, par le rapport des bassins versants, on estimera une certaine période historique des débits sur la Petite rivière au Renard.

Nous analysons ensuite la série des débits estimés afin de caractériser les deux bassins à l'étude. Comme le record historique peut ne pas présenter de séquence critique de bas ou de hauts débits permettant de vérifier d'une façon précise les règles d'exploitation de ces rivières, il sera nécessaire d'étendre la série précédente par une étude dite de simulation.

Enfin nous étudierons le rendement de deux réservoirs théoriques, situés respectivement sur la Petite rivière au Renard et la Petite Fourche afin de régulariser de façon optimale le débit d'eau fourni au complexe industriel.

Signalons que le présent ouvrage donne, pour les différentes études réalisées, les résultats complets dans le cas de la Petite rivière au Renard; cependant, dans le but d'éviter d'alourdir indûment la présentation, certains résultats d'étapes intermédiaires seront volontairement omis dans le cas de la rivière Petite Fourche. Il sera toujours possible au lecteur de reconstituer ceux-ci en multipliant les valeurs obtenues pour la Petite rivière au Renard par la constante du rapport des superficies de bassin qui est 1.57 (11.4 mi ÷ 7.3 mi).

CHAPITRE II

ETUDE HYDROMETRIQUE

2.1 Estimation des débits sur la Rivière-Au-Renard, station 020501

2.1.1 Comparaison des débits moyens mensuels

La période documentée dont nous disposons pour établir le parallèle entre la rivière au Renard et les rivières avoisinantes s'étend de septembre 1971 à décembre 1972, c'est-à-dire un peu moins d'un an et demi. C'est évidemment exigu pour estimer avec précision des paramètres de comparaison des débits. Nous pouvons cependant distinguer l'allure des régimes des rivières régionales (voir tableau I) pour fixer le choix de celle qui semble se comparer le mieux avec la rivière au Renard.

L'allure générale du régime de la rivière Darmouth présente à la figure 2 une ressemblance patente avec celle de la rivière au Renard. Notons, cependant, qu'au printemps le débit spécifique sur ce dernier cours d'eau est supérieur au premier. Ce phénomène est physiquement explicable par leur situation géographique respective.

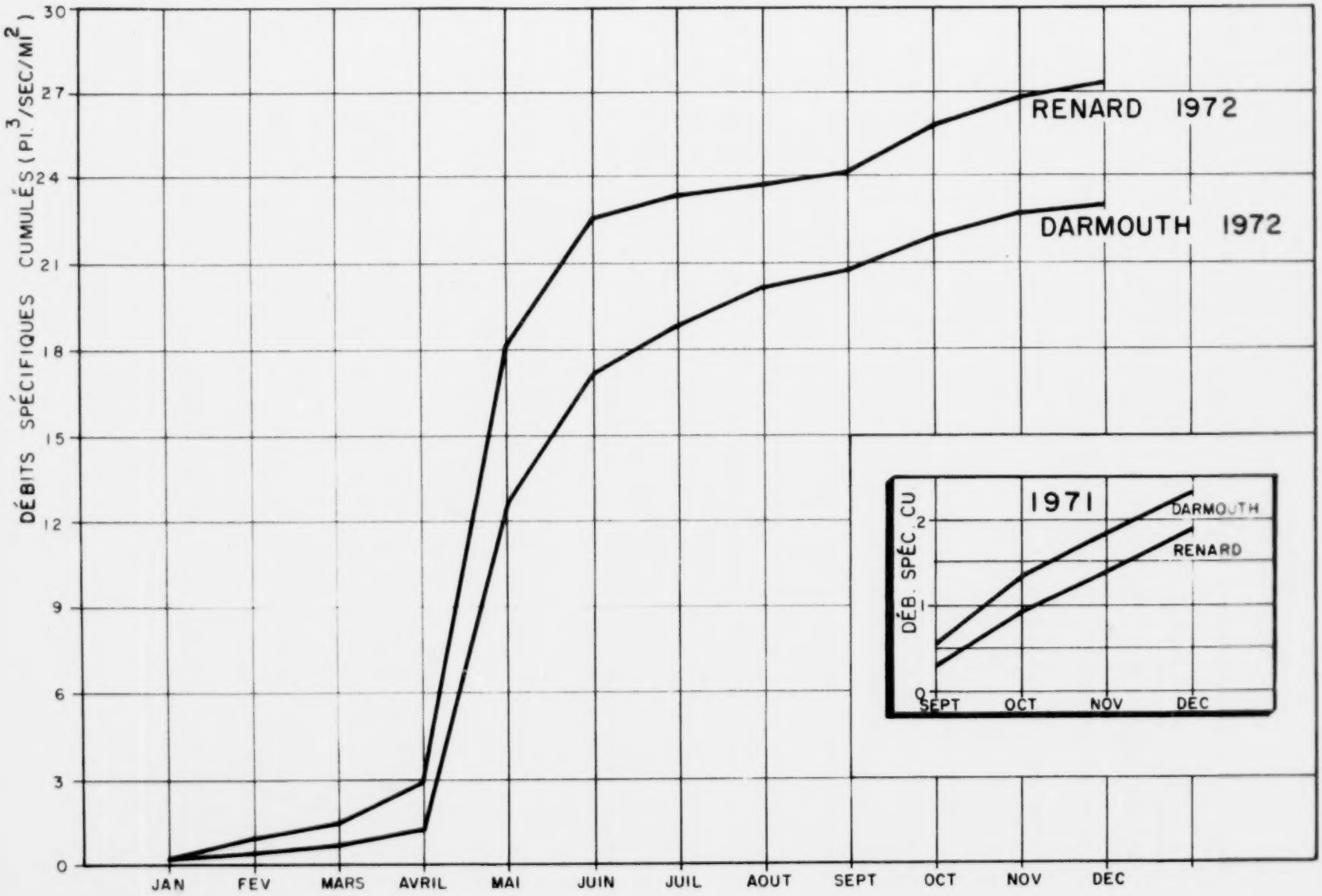


Figure 2: Débits moyens spécifiques cumulés pour la Petite Rivière Au Renard et la rivière Darmouth.

En effet, la majeure partie du bassin de la Darmouth se situe dans les hautes terres du parc de la Gaspésie où le dégel est plus tardif et, de plus, la petitesse relative du bassin de la rivière au Renard occasionne des crues plus fortes en intensité.

2.1.2 Analyse des précipitations

Pour déterminer un algorithme de transposition, il est important de connaître l'histoire des précipitations de la région. En effet, si par la hauteur de précipitation tombée sur les bassins conférés, nous pouvons expliquer la différence qui existe entre les débits moyens spécifiques de chacun de ceux-ci, il sera alors possible d'ajuster en conséquence le facteur de transposition.

Les précipitations sur la rivière Darmouth ont été calculées par la méthode de Thiessen à l'aide des stations régionales présentées au tableau I. La station de Rivière-Au-Renard est utilisée pour estimer les données météorologiques sur le bassin de la rivière au Renard. Nous avons porté en graphique, à la figure 3, le régime mensuel des précipitations estimées pour chaque bassin sur une période à long terme. Nous remarquons que la différence n'est pas

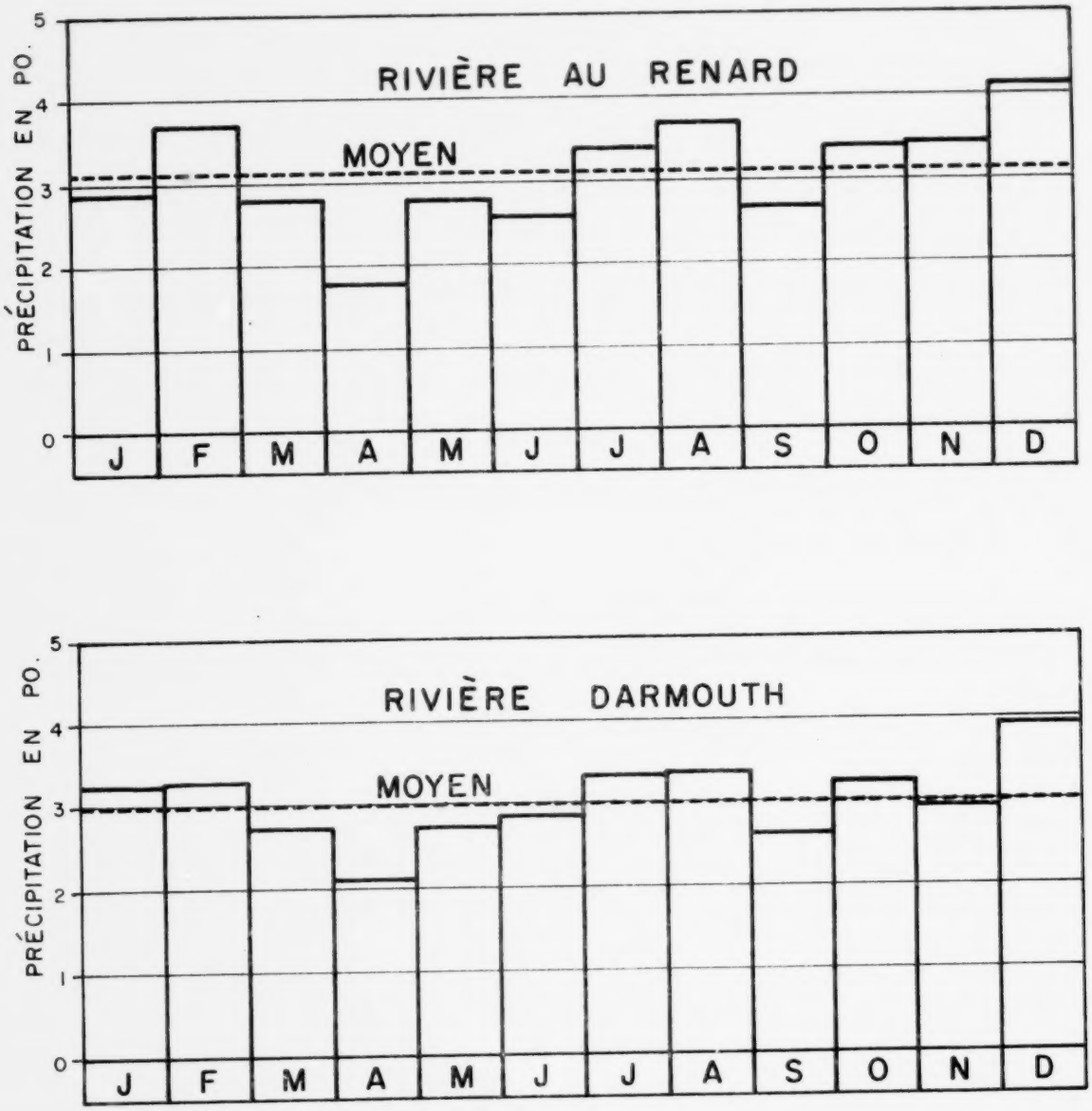


Figure 3: Régime des précipitations sur les bassins comparés.

significative. De même, l'analyse des précipitations, limitée à la période où nous comparons le débit des rivières, nous apporte aucun motif valable de modifier le facteur de transposition mensuel qui sera établi, sans risque d'erreurs, en fonction du rapport des aires de bassins versants.

En résumé, nous portons au tableau II, les facteurs mensuels employés pour transposer les débits spécifiques de la rivière Darmouth (station 020602) à ceux de la rivière au Renard (station 020501).

2.2 Estimation des débits sur la Petite rivière au Renard et la rivière Petite Fourche

Etant donné une période d'enregistrement à la station 020603 relativement courte, il est très difficile de baser la comparaison des débits de la rivière au Renard à ceux de la rivière Petite Fourche sur ces quelques cinq mois de données. Nous croyons, en l'occurrence, qu'il serait préférable d'établir le facteur de transposition uniquement à partir du rapport direct de la surface des bassins versants. Les données recueillies à la station n'ont pas infirmé cette hypothèse.

MOIS	FACTEUR DE TRANSPOSITION
Janvier	1.0
Février	1.0
Mars	1.0
Avril	2.5
Mai	1.35
Juin	1.14
Juillet	1.0
Août	1.0
Septembre	1.0
Octobre	1.0
Novembre	1.0
Décembre	1.0

Tableau II: liste des facteurs mensuels de transposition pour les débits spécifiques entre la rivière Darmouth et la rivière au Renard.

De la même façon, nous avons transposé directement, dans le rapport des aires des bassins versants, les données historiques estimées du débit de la rivière au Renard à la Petite rivière au Renard.

Les tableaux III et IV indiquent le résultat de cette étude qui couvre une période de vingt-sept années de valeurs mensuelles et saisonnières de débits sur la Petite rivière au Renard. Les valeurs correspondantes pour la rivière Petite Fourche sont obtenues en multipliant les résultats précédents par la constante de la superficie des bassins versants.

ANNEE	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1946	2.3	2.0	2.0	24.3	126.0	36.8	6.4	2.9	2.5	2.0	1.4	1.0
1947	0.8	0.8	0.7	2.7	87.4	62.4	9.8	4.8	2.4	2.5	6.9	5.1
1948	2.0	1.0	0.8	6.4	113.0	24.1	3.4	3.3	26.3	13.2	9.8	6.9
1949	3.6	2.2	1.3	28.3	81.3	25.7	5.9	4.5	6.6	5.5	6.7	9.8
1950	6.4	3.3	4.2	73.8	115.0	16.5	4.4	2.4	1.6	1.7	21.3	40.5
1951	10.5	4.2	2.6	122.0	107.0	19.6	10.8	7.4	4.0	2.0	13.6	43.6
1952	7.4	3.5	3.0	23.8	213.0	93.8	5.5	1.9	1.4	8.6	15.8	11.5
1953	4.5	3.4	3.1	82.8	106.0	18.1	5.4	3.4	3.2	1.7	8.2	8.4
1954	5.3	2.0	14.2	102.0	79.6	10.7	31.4	35.9	15.6	8.2	21.7	12.1
1955	5.2	8.3	5.0	45.2	161.0	74.3	1.6	2.4	7.8	4.9	10.3	3.0
1956	4.2	3.3	1.7	17.5	89.0	80.3	6.9	4.2	3.3	5.9	3.5	2.4
1957	1.4	1.1	1.7	9.3	100.0	53.2	14.7	3.9	3.1	5.2	12.0	23.2
1958	8.5	4.6	5.9	133.0	93.7	17.9	10.3	13.2	4.3	5.9	5.3	2.6
1959	2.3	2.0	1.9	44.6	119.0	22.5	4.4	2.6	1.7	4.0	6.5	7.2
1960	3.6	3.0	2.3	25.4	221.0	26.6	4.2	3.0	2.1	2.5	3.5	4.4
1961	4.1	1.7	0.6	5.3	122.0	24.3	10.6	6.2	7.3	13.1	8.0	8.2
1962	7.2	2.2	2.2	32.1	98.0	33.1	27.0	8.5	4.4	7.0	31.0	13.3
1963	5.9	2.4	1.4	12.3	137.0	46.1	8.0	14.1	9.4	16.2	17.4	9.7
1964	4.0	3.2	1.5	38.0	106.0	22.7	8.3	7.9	3.6	3.3	4.3	11.6
1965	10.2	3.6	6.4	12.8	114.0	33.4	4.0	2.3	3.2	12.7	6.8	4.3
1966	1.8	2.5	3.2	48.1	162.0	75.7	4.9	5.5	3.4	6.0	10.0	11.0
1967	3.6	1.4	0.9	3.6	78.8	98.6	6.8	2.7	11.9	6.3	4.7	3.7
1968	2.0	2.1	2.1	111.0	64.7	17.5	5.9	3.8	2.8	23.7	12.2	4.8
1969	3.5	2.6	2.4	29.8	157.0	89.2	4.8	4.0	7.5	6.2	11.3	20.6
1970	15.6	10.6	4.2	32.4	90.9	12.1	9.1	15.6	21.2	17.0	11.2	4.8
1971	2.3	1.7	2.0	102.0	145.0	16.8	4.9	4.0	3.7	5.8	3.8	3.4
1972	1.7	1.3	1.9	4.0	82.3	32.5	11.9	9.3	4.7	8.2	5.4	2.7

Tableau III: Débits moyens mensuels de la Petite Rivière Au Renard transposés de la rivière Darmouth.

ANNEE	HIVER	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE
1946	2.1	63.1	3.9	1.5
1947	0.8	51.2	5.7	4.8
1948	1.3	48.5	10.8	10.0
1949	2.4	45.5	5.7	7.4
1950	4.7	68.9	2.8	21.2
1951	5.8	83.1	7.4	19.8
1952	4.6	111.3	3.0	11.9
1953	3.7	69.4	4.0	6.1
1954	7.3	64.3	27.8	13.9
1955	6.1	94.2	3.9	6.0
1956	3.1	62.6	4.8	4.0
1957	1.4	54.7	7.3	13.5
1958	6.4	81.7	9.3	4.6
1959	2.1	62.7	2.9	5.9
1960	3.0	92.4	3.1	3.4
1961	2.2	51.3	8.0	9.8
1962	3.9	54.9	13.4	16.9
1963	3.3	65.9	10.5	14.4
1964	2.9	56.1	6.7	6.4
1965	6.9	54.1	3.2	7.9
1966	2.5	96.0	4.6	9.0
1967	2.0	60.5	7.1	4.9
1968	2.1	64.4	4.2	13.6
1969	2.9	92.7	5.4	12.7
1970	10.1	45.6	15.2	11.0
1971	2.0	88.6	4.2	4.3
1972	1.6	40.1	8.7	5.4

Tableau IV: Débits moyens saisonniers de la Petite Rivière Au Renard transposés de la rivière Darmouth.

CHAPITRE III

ANALYSE DES DEBITS

3.1 Régime

Le régime des cours d'eau régionaux est caractérisé par la forte crue printanière et un écoulement stable pour le reste de l'année. Nous avons schématisé à la figure 4 le profil mensuel des débits sur la Petite rivière au Renard pour des années humide (1954), moyenne (1953) et sèche (1972). Nous constatons, en se basant sur l'année moyenne, que les mois de novembre et décembre séparent deux périodes de faible étiage. Notons cependant que la crue d'automne est relativement peu élevée par rapport à la crue du printemps et que souvent elle est inexistante.

Comme l'a montré la figure 3, l'uniformité des précipitations mensuelles est la cause première du phénomène observé sur le régime des rivières locales.

Nous pouvons déjà prévoir que le paramètre prédominant pour fournir un débit minimal au parc industriel projeté sera les dimensions de la réserve permettant d'étaler la crue printanière sur l'ensemble de l'année.

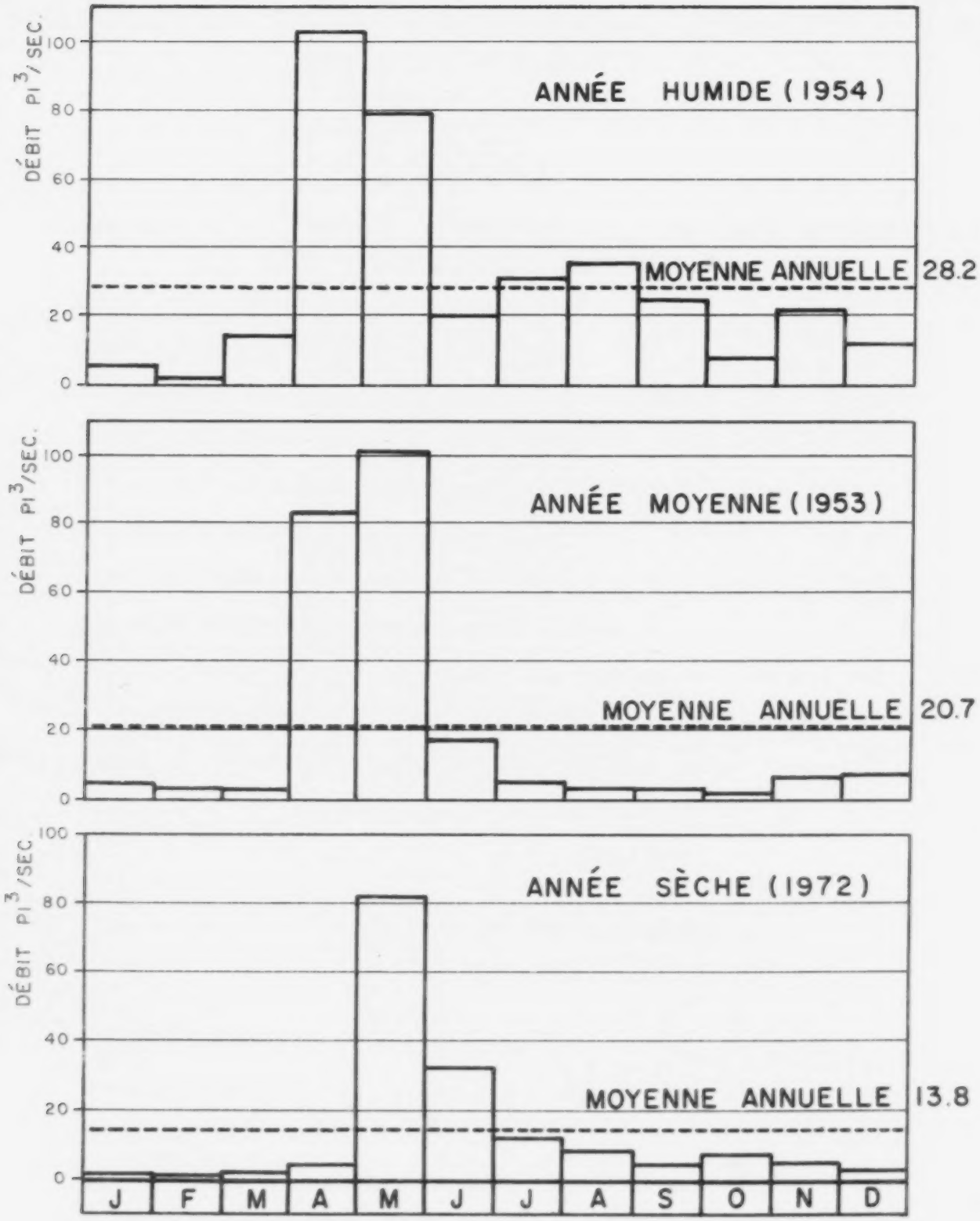


Figure 4: Régime des débits mensuels à la Petite Rivière Au Renard pour une année humide, moyenne et sèche.

3.2 Etude statistique des débits moyens

A partir des vingt-sept années de données que nous possédons, nous avons analysé les débits annuels, saisonniers et mensuels pour la Petite rivière au Renard et pour la partie supérieure du bassin de la rivière Petite Fourche. Les résultats présentés sont ceux de la Petite rivière au Renard et les résultats de la Petite Fourche sont dans le rapport de l'aire des bassins versants.

3.2.1 Débits annuels

A la figure 5, nous présentons la variabilité de l'hydraulicité qui est définie comme étant l'écart entre le module et le module interannuel en pourcentage de ce dernier pour les "n" années consécutives, tandis qu'à la figure 6, nous trouvons pour les distributions normale et log Pearson III les débits moyens annuels en regard des fréquences de dépassement. Les débits sont classés selon la méthode Kimball.

3.2.2 Débits saisonniers

Les débits saisonniers sont calculés en prenant les moyennes mensuelles pondérées pour les périodes

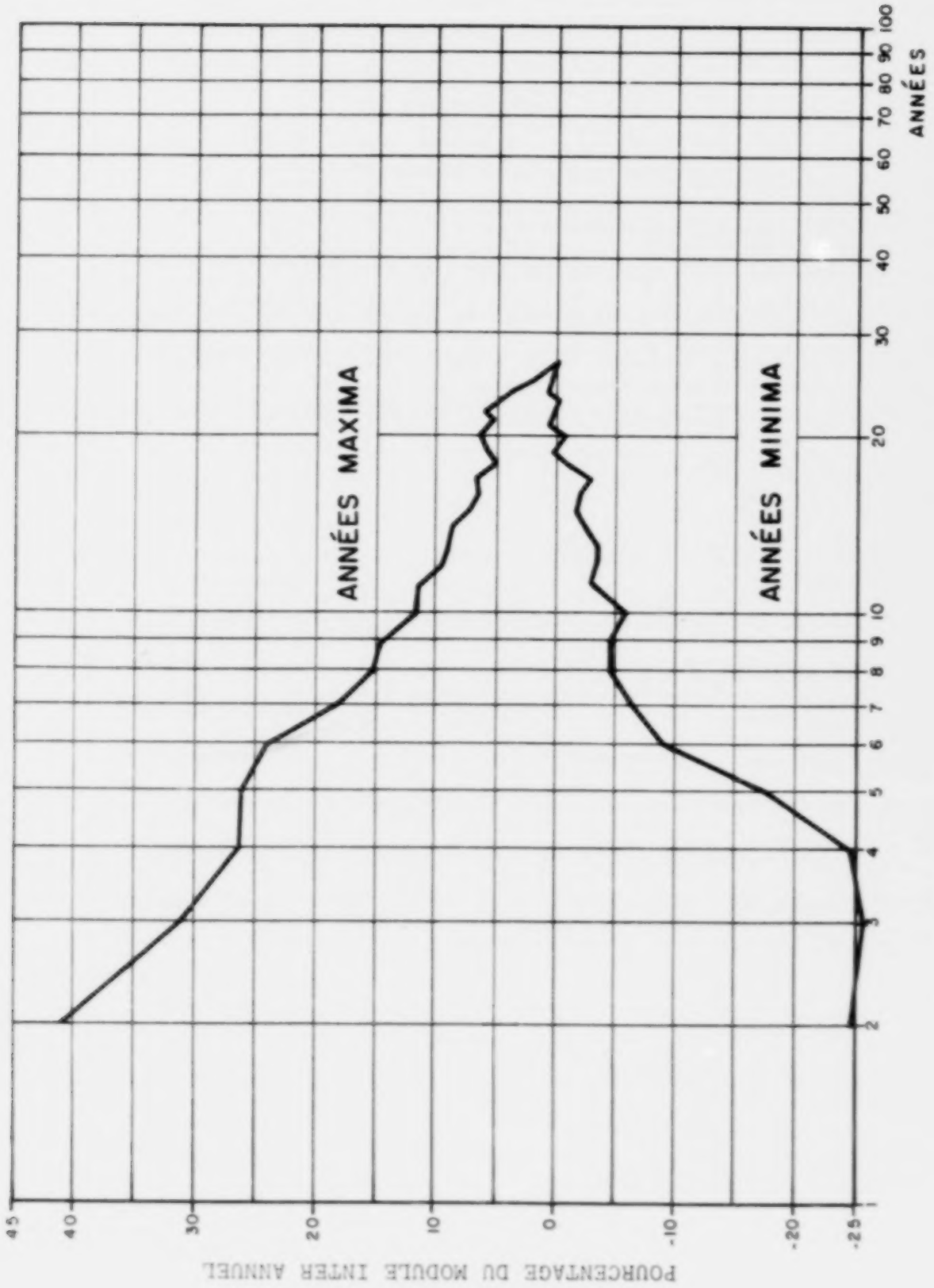


Figure 5: Hydraulicité pour des années consécutives.

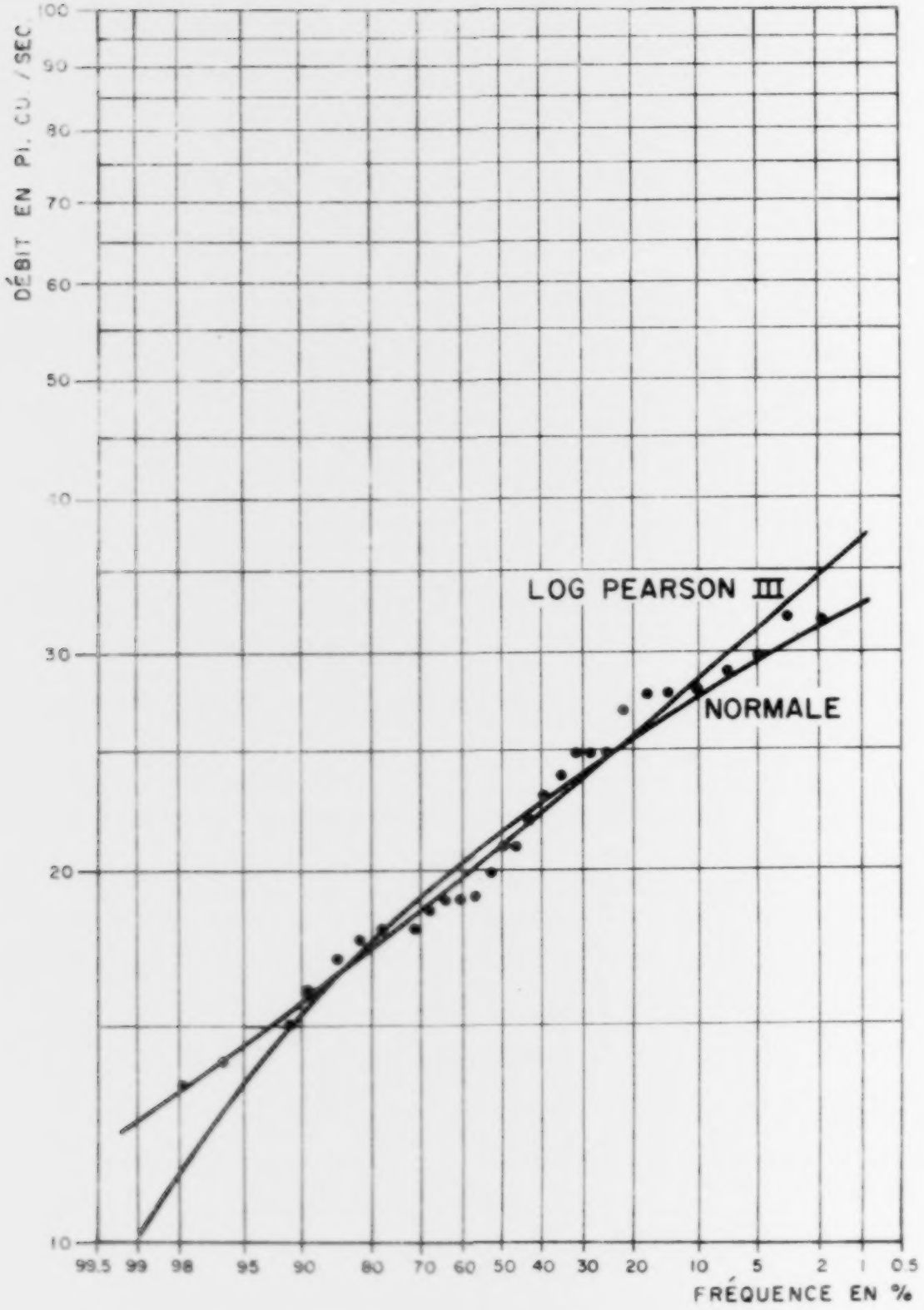


Figure 6: Fréquence de dépassement des débits moyens annuels pour la Petite Rivière Au Renard.

suivantes: janvier à mars pour l'hiver, avril à juin pour le printemps, juillet à septembre pour l'été et octobre à décembre pour l'automne. Le tableau IV donne les débits saisonniers pour la période qui s'étend de 1946 à 1972 par ordre chronologique. La figure 7 présente pour la distribution log Pearson III les débits en fonction des fréquences de dépassement.

3.2.3 Débits mensuel

La figure 8 indique les fréquences de dépassement de tous les débits mensuels. Nous portons aux figures 9 à 12 l'ajustement statistique de la loi log Pearson III sur les données mensuelles.

La figure 13 présente l'analyse spectrale pour les vingt-sept années. L'analyse sepctrale consiste à décomposer une série stationnaire en fréquence pour permettre de mesurer l'importance relative de chacune de ces fréquences en termes de variation de la fréquence totale. Si une fréquence est importante, la densité spectrale montrera une pointe à cette fréquence. L'un des avantages fondamental de l'analyse spectrale est de donner un outil mathématique qui précise l'élément périodique et l'élément stochastique des séries chronologiques.

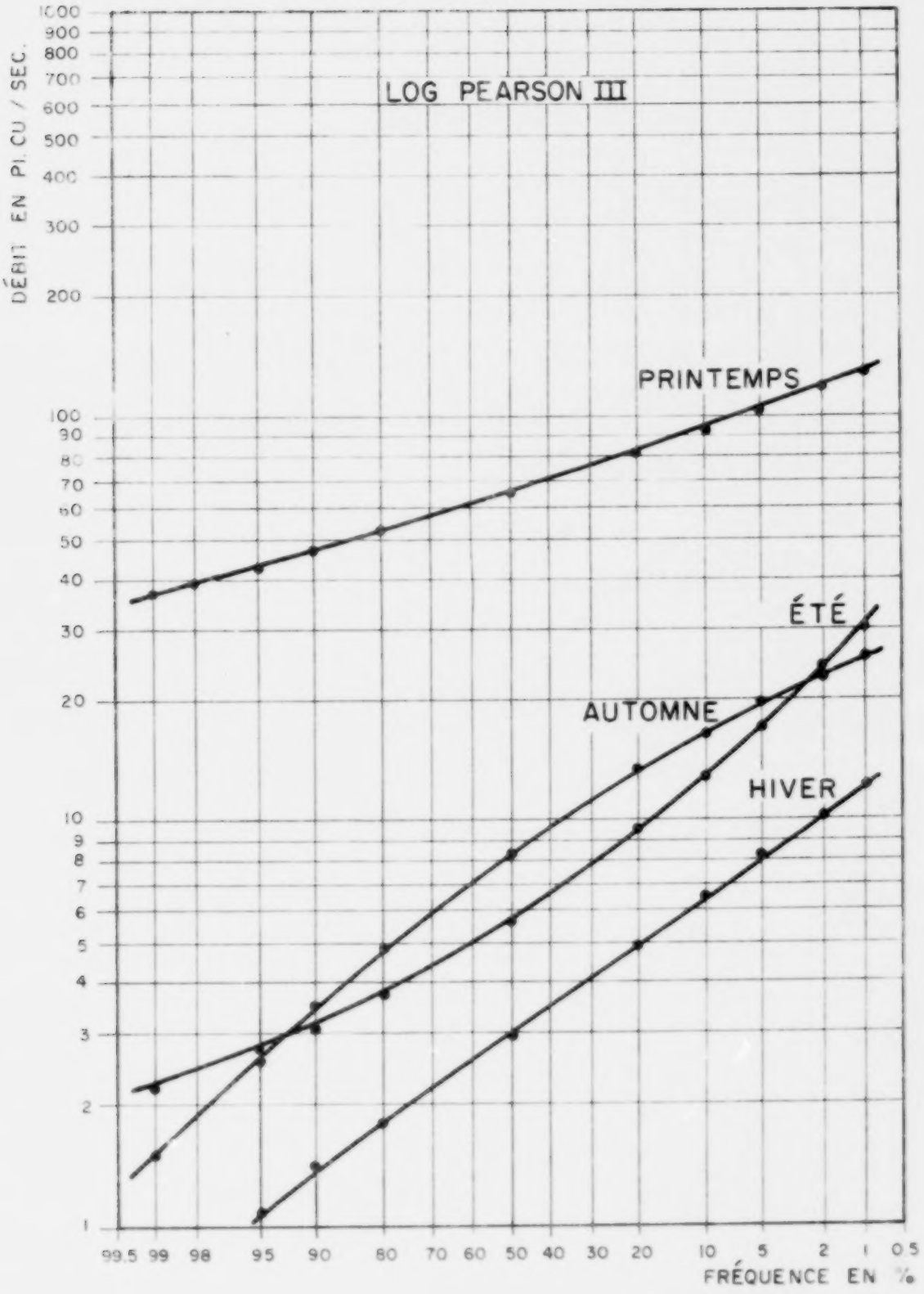


Figure 7: Fréquence de dépassement des débits saisonniers pour la Petite Rivière Au Renard.

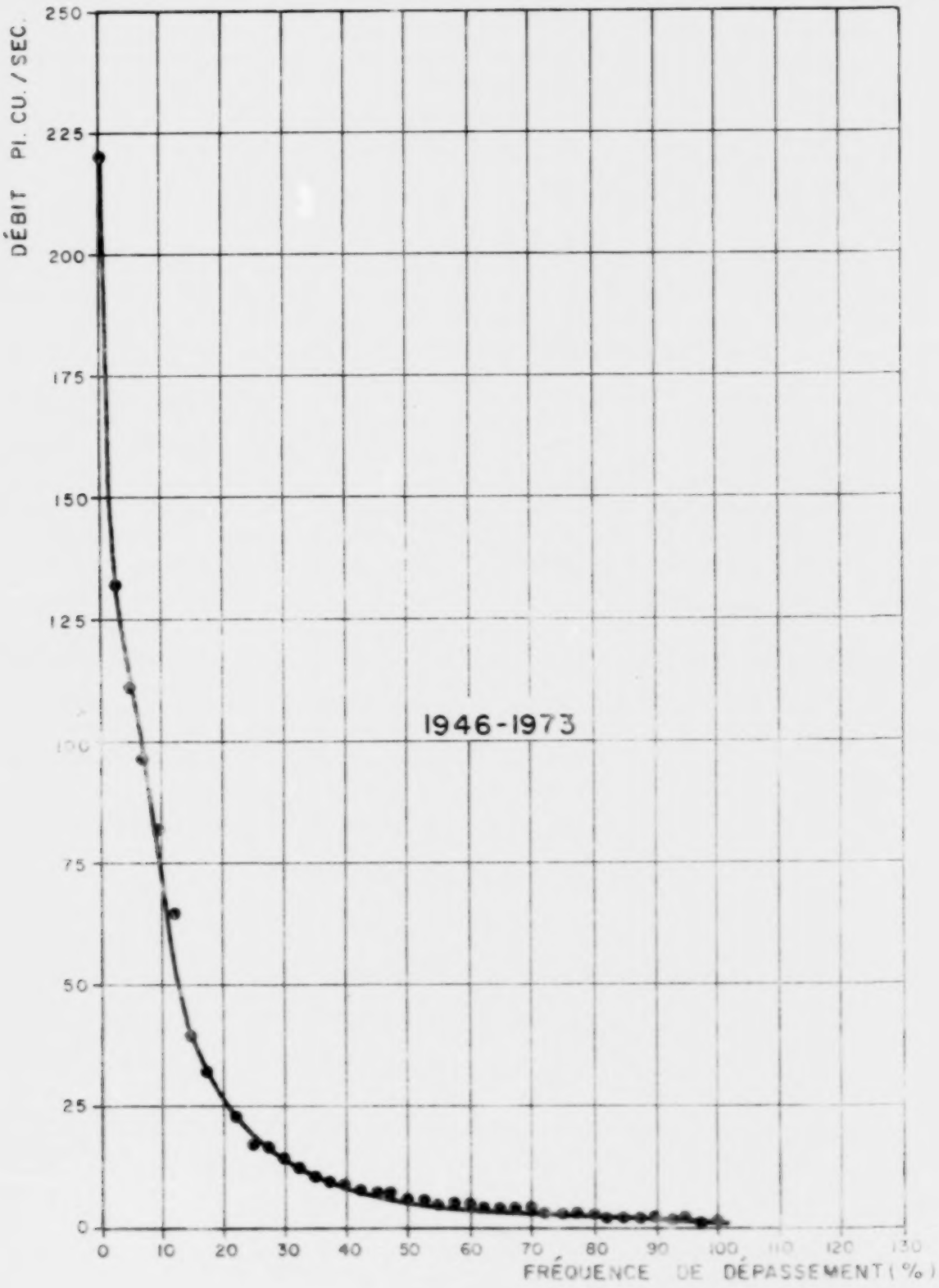


Figure 8: Courbe des débits mensuels classés pour la Petite Rivière Au Renard.

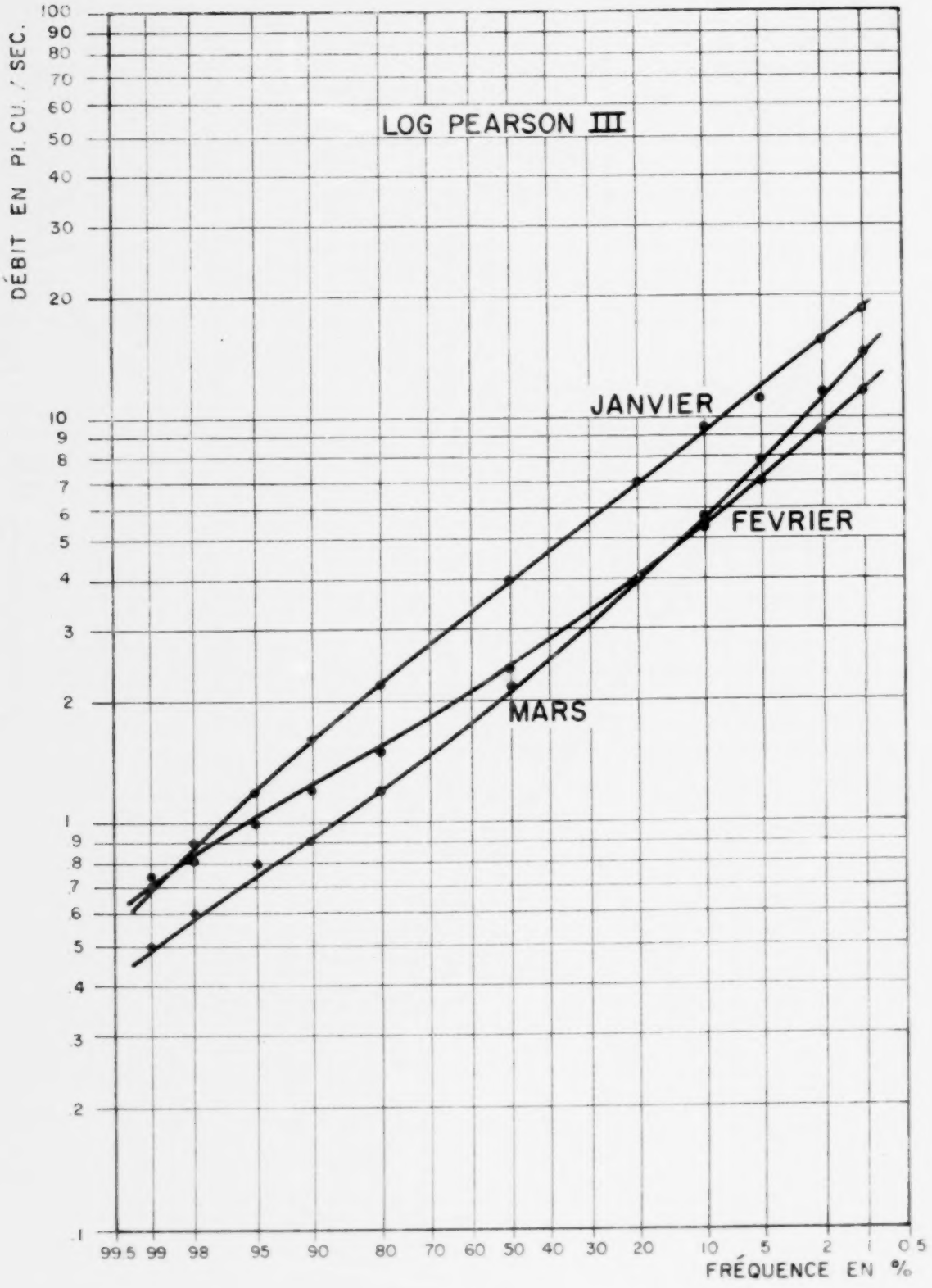


Figure 9: Fréquence de dépassement des débits mensuels à la Petite Rivière Au Renard.

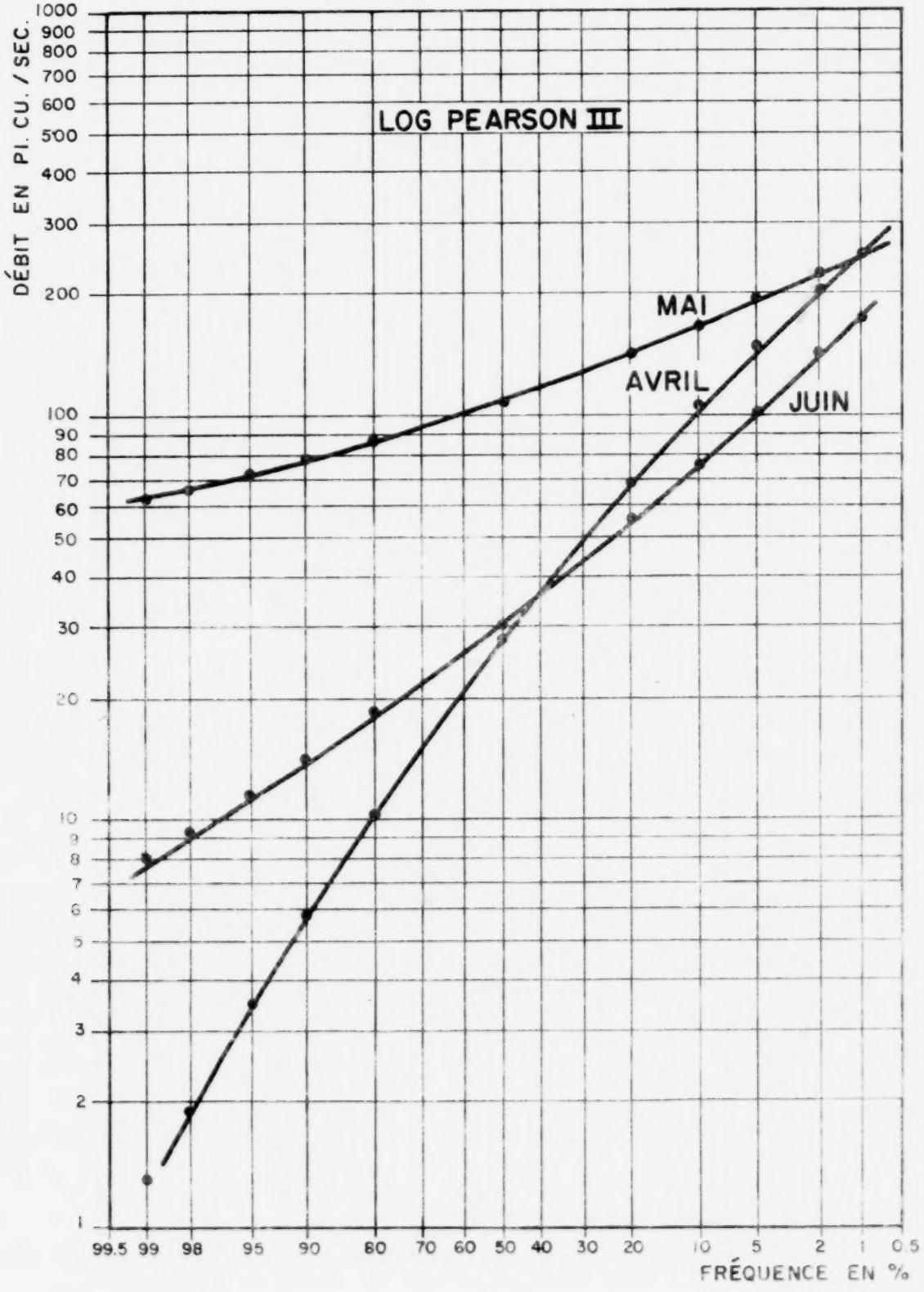


Figure 10: Fréquence de dépassement des débits mensuels à la Petite Rivière Au Renard.

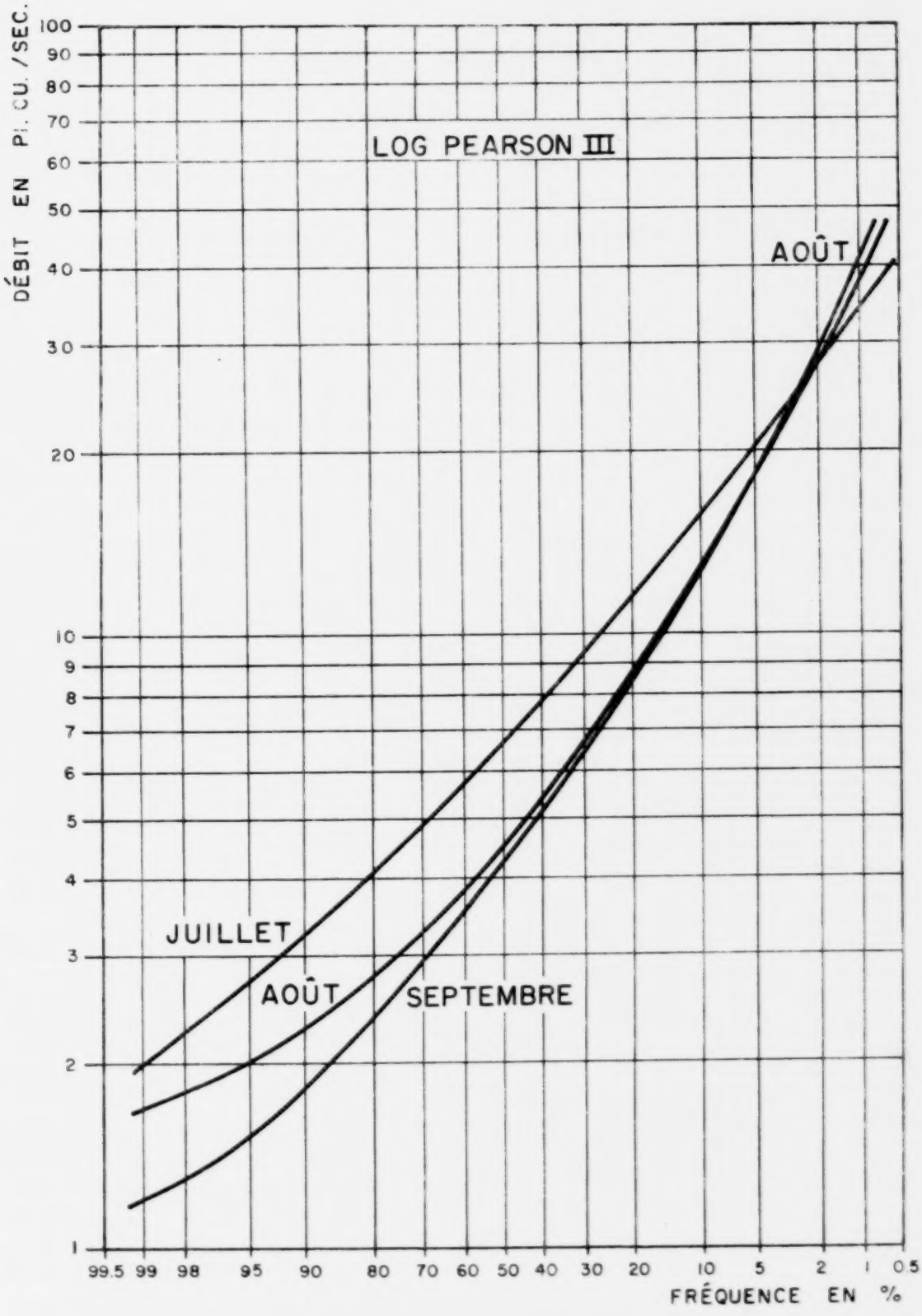


Figure 11: Fréquence de dépassement des débits mensuels à la Petite Rivière Au Renard.

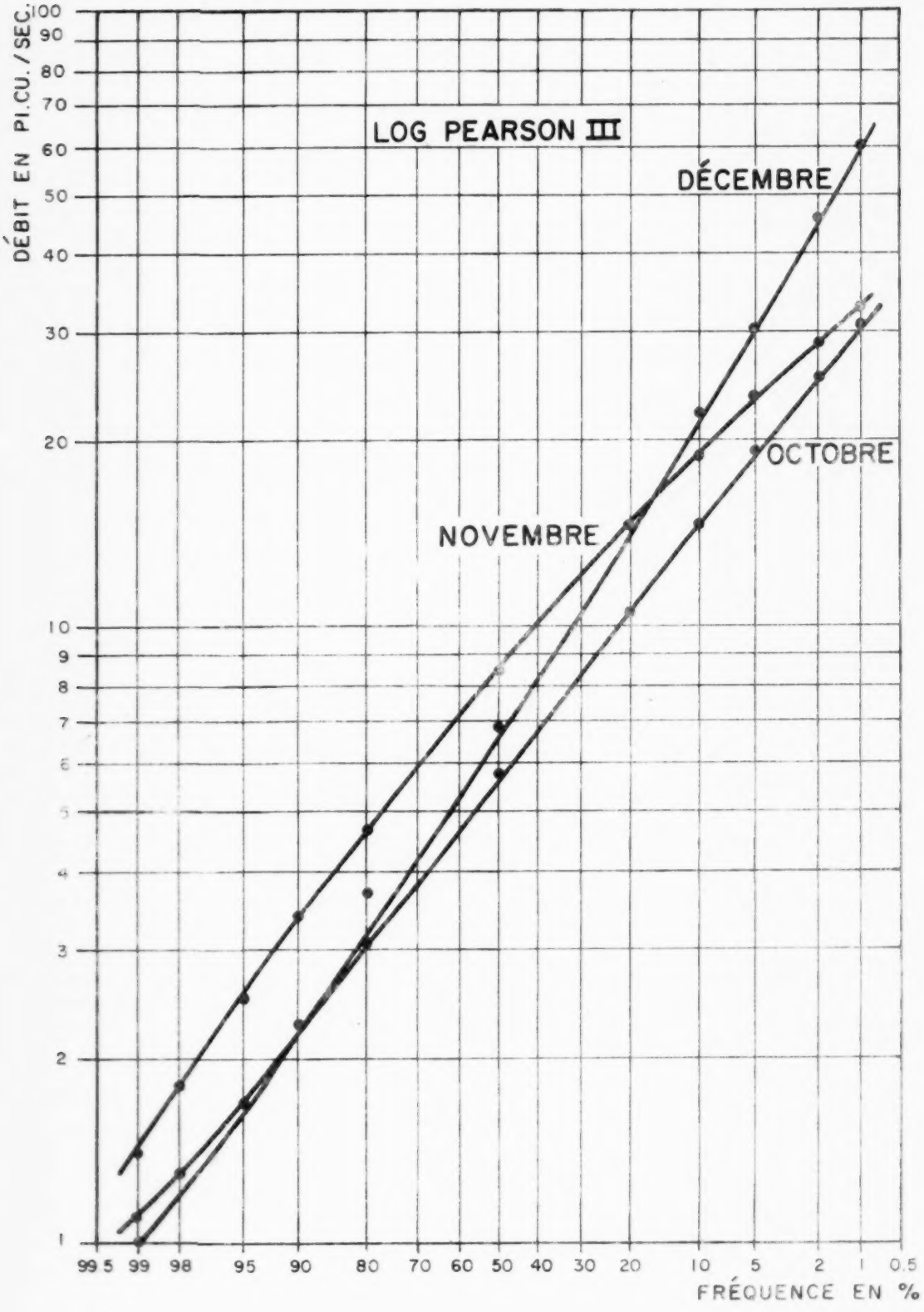


Figure 12: Fréquence de dépassement des débits mensuels à la Petite Rivière Au Renard.

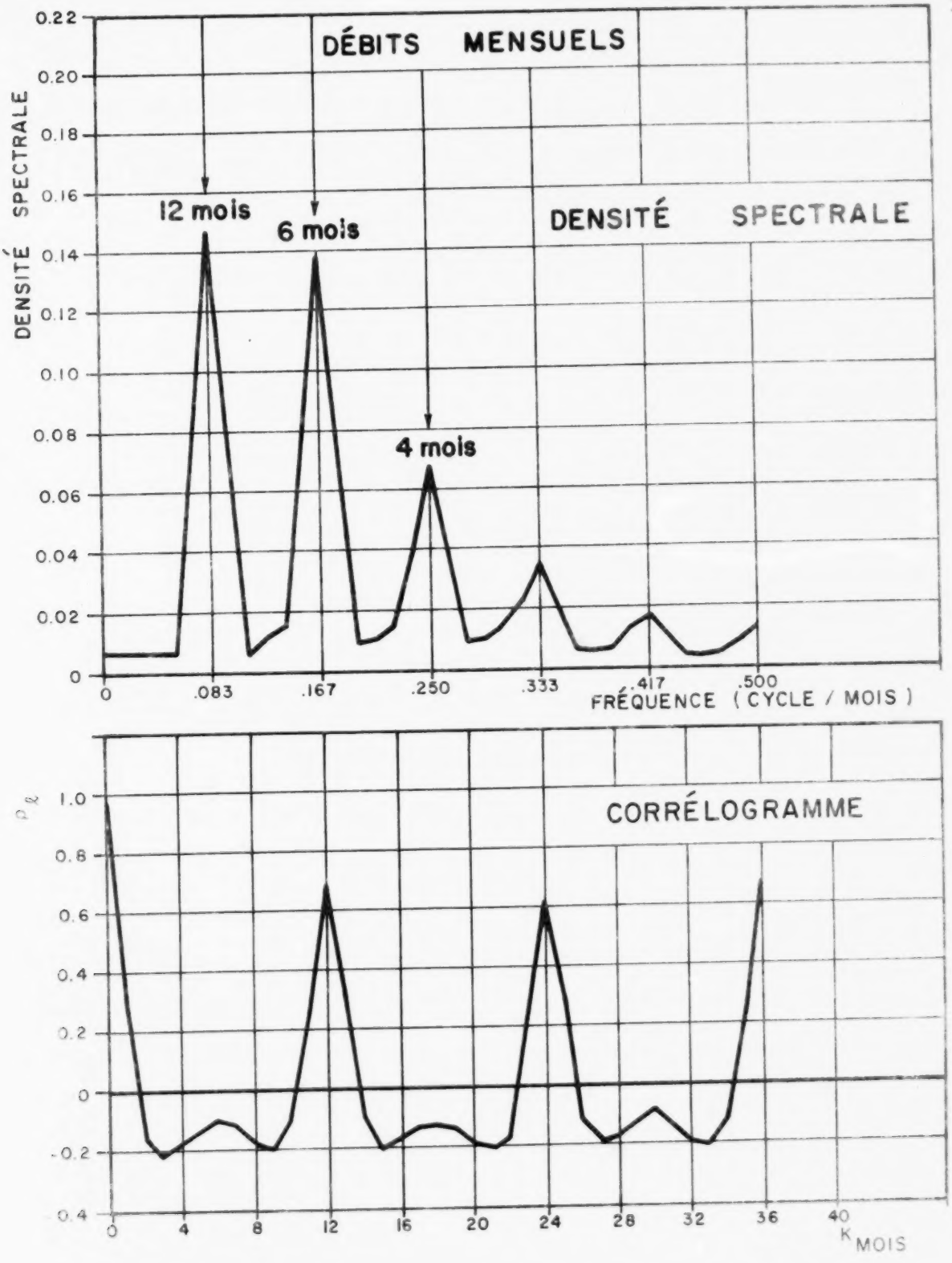


Figure 13: Analyse spectrale et corrélogramme pour la Petite Rivière Au Renard.

Il est à remarquer que les calculs sont faits sur la série standardisée. Le coefficient de corrélation de cette série standardisée devient:

$$\rho_\ell = \frac{\sum_{i=1}^{N-\ell} X_i \; X_{i-\ell}}{\sum_{i=1}^{N-\ell} X_i^2}$$

Pour $\ell = 1$, nous avons le coefficient de corrélation de lag 1 et ainsi de suite pour les autres valeurs de ℓ. Nous présentons le corrélogramme à la figure 13.

3.3 Caractéristiques de crue

3.3.1 Hydrogramme unitaire de la rivière Petite Fourche

En analysant la période documentée à la station 020603 sur la rivière Petite Fourche, nous avons retenu la seule crue du 10 octobre 73 comme étant représentative du bassin étudié. Partant de cette crue, nous avons reconstitué l'hydrogramme unitaire conséquent à une durée de pluie de 5 heures: le tableau V donne les ordonnées en pi. ^{3}/sec. aux trois heures de cet hydrogramme qui est schématisé à la figure 14. Les principales caractéristiques sont le débit

HEURE	DEBITS (pi^3/s)
0	0
3	76
6	247
9	442
12	470
15	367
18	296
21	202
24	139
27	91
30	63
33	32
36	16
39	0

Tableau V: Ordonnées de l'hydrogramme unitaire de la rivière Petite Fourche à la station 020603.
(B.V. - 11.45 $mi.^2$)

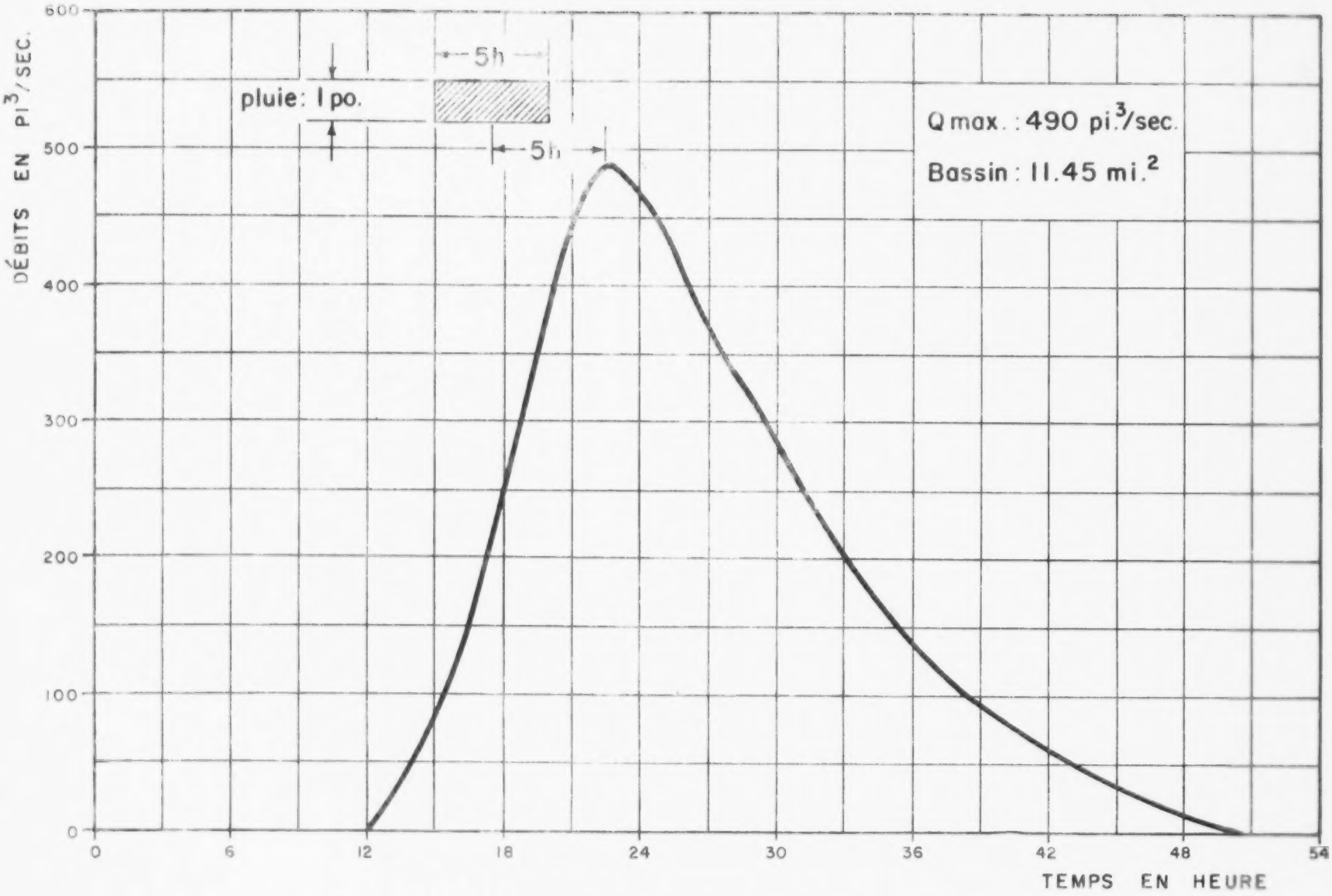


Figure 14: Hydrogramme unitaire de 5 heures pour la rivière Petite Fourche, à la station 020603.

de pointe de 490 pi. ^{3}/sec., le temps de base de 39 heures et le temps de réponse du bassin de 5 heures.

3.3.2 Hydrogramme unitaire sur la Petite rivière au Renard

Etant donné l'absence de données locales, les résultats sont corrélatifs de l'étude précédente sur la Petite Fourche. Nous avons effectué la transposition par la méthode de Snyder qui utilise la géométrie des bassins hydrographiques étudiés.

Les principales caractéristiques de l'hydrogramme unitaire produit par une pluie excédentaire de 5 heures sont le débit maximal de 396 pi. ^{3}/sec., le temps de base de 30 heures et le temps de réponse du bassin de 4 heures.

3.3.3 Courbe en "S" de la Petite rivière au Renard

La courbe en S peut être considérée comme une caractéristique hydraulique du bassin: c'est le véritable opérateur permettant de passer de la fonction pluie à la fonction débit. L'averse unitaire de 5 heures sur le bassin de 7.3 mi.^{2} de la Petite rivière au Renard n'est seulement que de 4 heures. Nous avons donc construit la

courbe en S de la Petite rivière au Renard au tableau VI et les résultats sont à la figure 15. Signalons que la longueur du temps de concentration (*) ainsi définie est de 27 heures.

De la courbe en S, nous avons déduit l'hydrogramme unitaire relié à une pluie nette de une heure. Les résultats effectués sont au tableau VI où la dernière colonne montre les ordonnées en pi. ^{3}/sec. de cet hydrogramme type qui est représenté à la figure 16.

3.3.4 Débit de crue

Partant des hydrogrammes unitaires de la Petite rivière au Renard, nous avons estimé les débits de crue pour différentes périodes de retour. La probabilité d'occurrence est trouvée à partir de celle des précipitations calculée par le service de Météorologie, à laquelle on applique un coefficient de ruissellement basé sur des études empiriques américaines.

---

* Définition: d'après Roche, le temps de concentration est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée de l'exutoire pour parvenir à celui-ci.

Temps en heure	Hydrogramme unitaire de 5 hres (débit p.c.s.)	Courbe en S	Hydrogramme unitaire de 1 hre (débit p.c.s.)
1	19	19	55
2	46	46	135
3	89	89	215
4	154	154	315
5	228	228	375
6	303	322	470
7	369	415	465
8	390	479	360
9	388	542	315
10	368	596	270
11	322	644	240
12	273	688	220
13	249	728	200
14	211	753	175
15	188	784	155
16	168	812	140
17	149	837	125
18	130	858	105
19	123	876	90
20	107	891	75
21	92	904	65
22	77	914	50
23	64	922	40
24	52	928	30
25	41	932	20
26	30	934	10
27	20	935	5
28	12	935	0
29	4	935	
30	0	935	

Tableau VI: Courbe en S et ordonnées des hydrogrammes unitaires sur la Petite Rivière Au Renard.

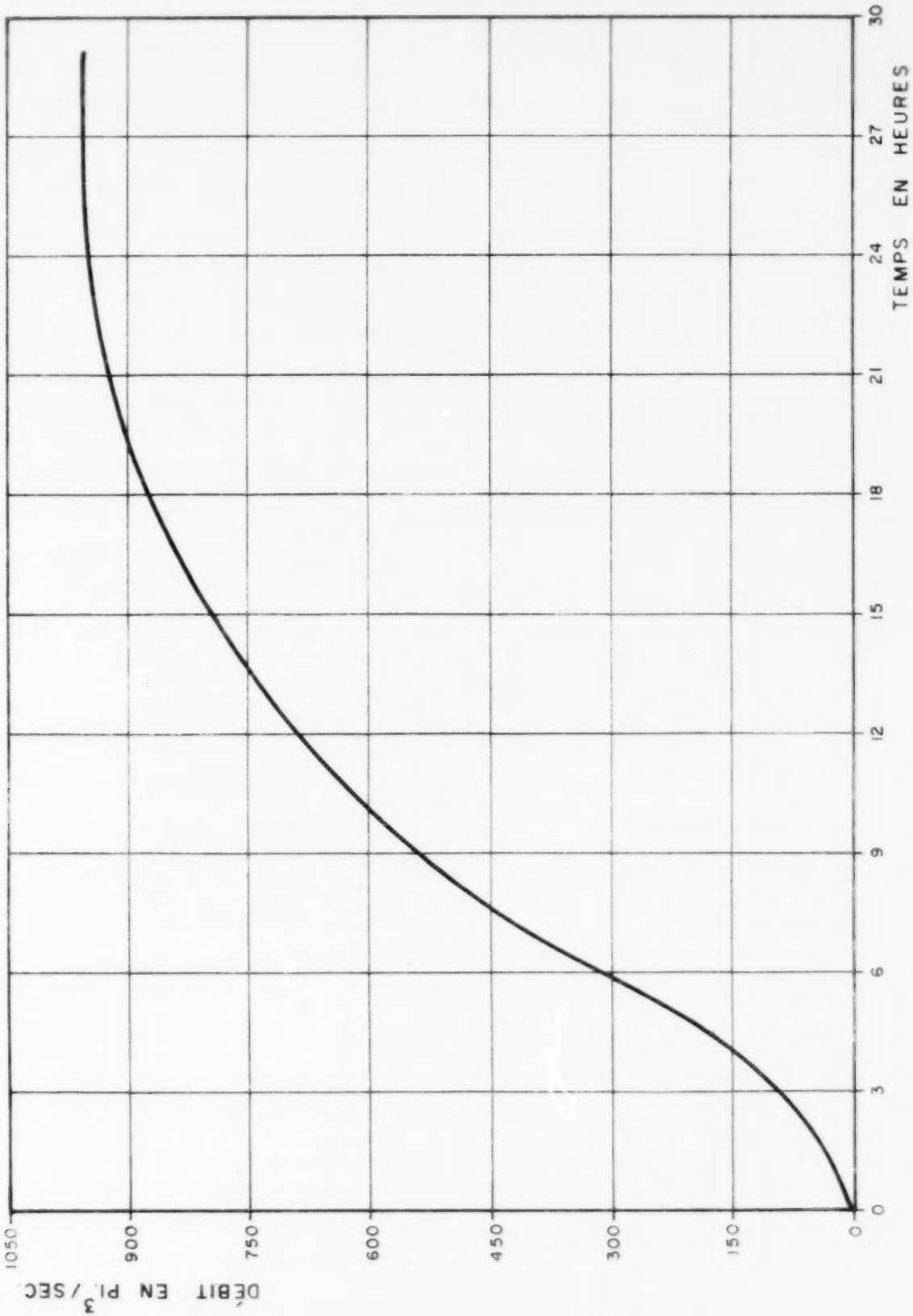


Figure 15: Hydrogramme en S de la Petite Rivière Au Renard.

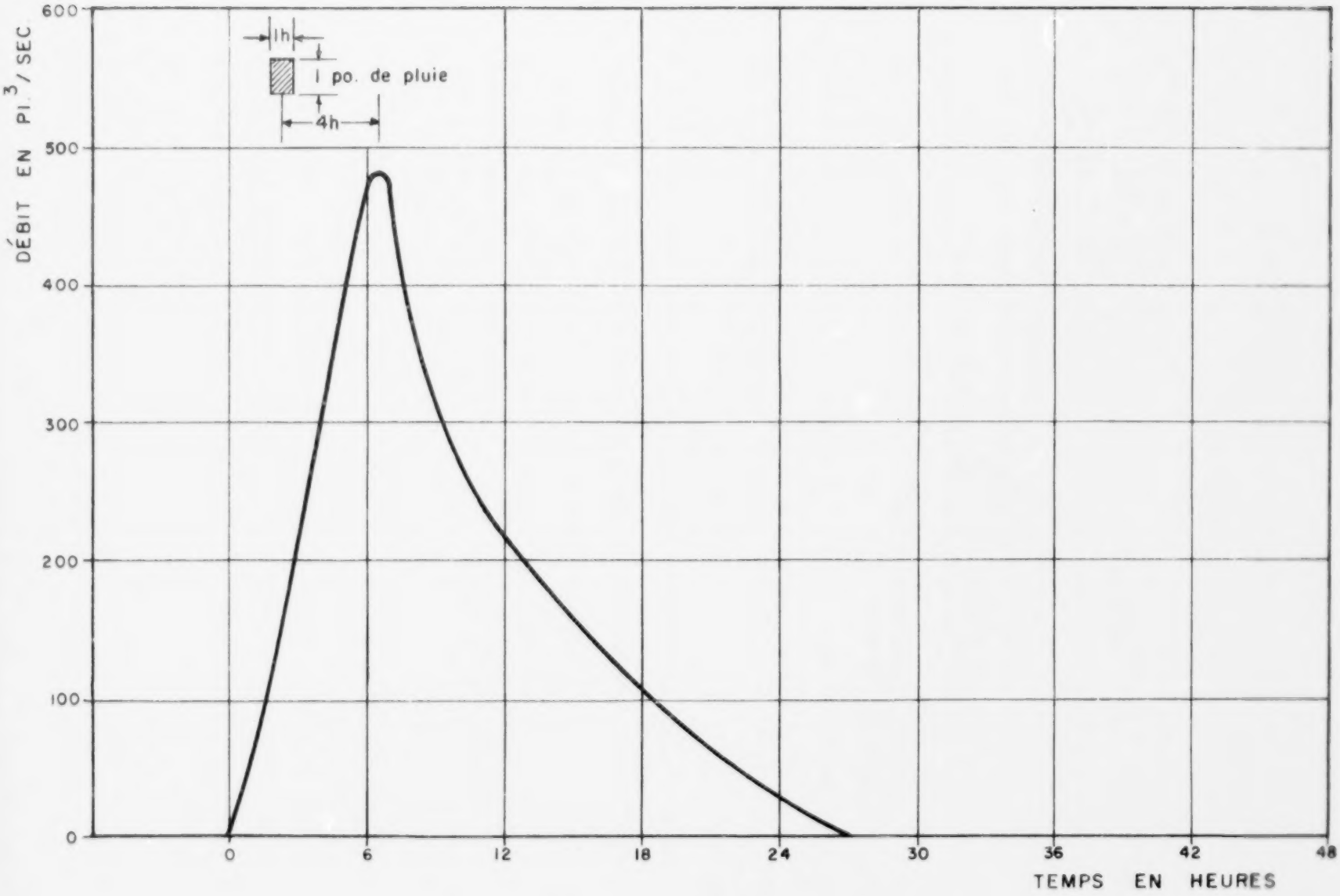


Figure 16: Hydrogramme unitaire de 1 heure pour la Petite Rivière Au Renard, à l'embouchure.

Les résultats obtenus sont les suivants:

Récurrence	Débit pi. ^{3}/sec
10 ans	530
25 ans	650
50 ans	700

CHAPITRE IV

GENERATION DES DEBITS MENSUELS

La période de données historiques de notre étude étant relativement courte pour connaître toutes les implications d'un contrôle artificiel de la rivière Petite Fourche et de la Petite rivière au Renard, nous devrons simuler des données. Le but de cette opération est de générer, à partir d'un processus mathématique connu, une série ayant la même moyenne et le même écart-type que la série observée.

Toutefois, nous ne pouvons utiliser un processus de simulation que si nous connaissons statiquement bien la séquence de nos données, soit la période mensuelle des vingt-sept années transposées.

4.1 Analyse de la série observée

Notre population se divise en douze (12) séries représentant les mois. Nous possédons donc, au départ la variable X_{ij} ($i = 1, 2, \ldots 12$, et $j = 1, 2, \ldots n$), la lettre "i" pour identifier le mois et "j" pour l'année. Dans notre cas, $n = 27$.

Soit m_i et s_i la moyenne et l'écart-type du mois "i" permettant de poser les relations

$$m_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} X_{ij} \qquad \text{pour } i = 1, 2, 3, \ldots 12$$

et

$$s_i = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} (X_{ij} - m_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \qquad \text{pour } i = 1, 2, \ldots 12 \quad j = 1, 2, \ldots 27$$

Ces valeurs étant chiffrées, nous standardisons les données observées. Nous appelerons notre variable VS_{ij}.

$$VS_{ij} = \frac{X_{ij} - m_i}{s_i} \qquad \text{où } i = 1, 2, \ldots 12 \quad j = 1, 2, \ldots 27$$

Nous exprimerons VS_{ij} sous une forme vectorielle VS_T où $T = i - 12q$, $i = 1, 2, \ldots 12$ et $q = 0, 1, 2, \ldots n - 1$. Cette variable représente la série standardisée des débits mensuels, la composante saisonnière ayant été enlevée. Il est évident que la moyenne et l'écart-type sont respectivement 0 et 1.

Il est aussi important de déterminer la dépendance séquentielle entre les valeurs de la série standardisée.

Nous exprimerons cette dépendance par le coefficient d'autocorrélation de lag 1. Ce coefficient s'exprime sous le forme:

$$\rho_1 = \frac{\sum_{t=1}^{12n-n} VS_T \cdot VS_{T-1}}{12n - 1}$$

où n représente le nombre d'années.

La valeur significative de ce coefficient d'autocorrélation permettant de conclure sur la dépendance des membres de l'échantillon nous est donnée par le test d'Anderson formulé de la façon suivante:

$$L(\alpha) = \frac{-1 \pm \phi(\alpha) \quad N - \ell}{N - \ell - 1}$$

où α est le niveau de signification

$\phi(\alpha)$ est la fonction normale standardisée

N est le nombre total d'observations

ℓ est le lag, soit $\ell = 1$

Cette formule exprime les bornes de la région critique d'acceptation de l'interdépendance. Dans notre étude, $\rho_1 = -0.022$ tandis que L (95%) = - 0.074 et 0.068.

D'où - 0.074 < - 0.022 < 0.068, ce qui nous permet d'arguer à l'indépendance des valeurs mensuelles.

4.2 Choix du modèle de simulation

Pour bien choisir notre modèle de simulation, nous devons savoir à quelle loi obéit notre population. Au départ, comme le modèle de Gauss est l'un des plus simples, nous vérifierons si nos données appartiennent à une population normale.

Les tests d'asymétrie et de kurtosis nous permettront de vérifier cette hypothèse. Nous savons que pour une loi normale l'asymétrie et le kurtosis égalent zéro.

Nous calculerons l'asymétrie T de la façon suivante:

$$T = \pm\sqrt{\frac{N\ b_1}{6}}$$

et de même de kurtosis:

$$K = (b_2 - 3)\ \sqrt{\frac{N}{24}}$$

où N est le nombre d'observations

$$b_1 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{12N} (Z_T)^3$$

$$b_2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{12N} (Z_T)^4$$

De notre population, nous calculons le kurtosis, K = 12.88 et l'asymétrie, T = 9.92.

Nous pouvons accepter l'hypothèse d'une distribution normale standardisée pour un niveau de signification donnée si:

$$|T| < \phi(\beta) \quad \text{et} \quad |K| < \phi(\beta)$$

où β est le niveau de signification

$\phi(\beta)$ est la fonction normale standardisée

Pour un niveau de signification de 95%, nous avons $\phi(\beta) = 1.96$. Donc nous constatons que:

$$T > \phi(\beta) \quad \text{et} \quad K > \phi(\beta)$$

Nous déduisons alors que notre échantillon n'appartient pas à une population normale ni à une population symétrique. En se référant à la figure 17 où les valeurs standardisées de notre échantillon sont portées en graphique, nous constatons que le tout est déphasé vers le gauche.

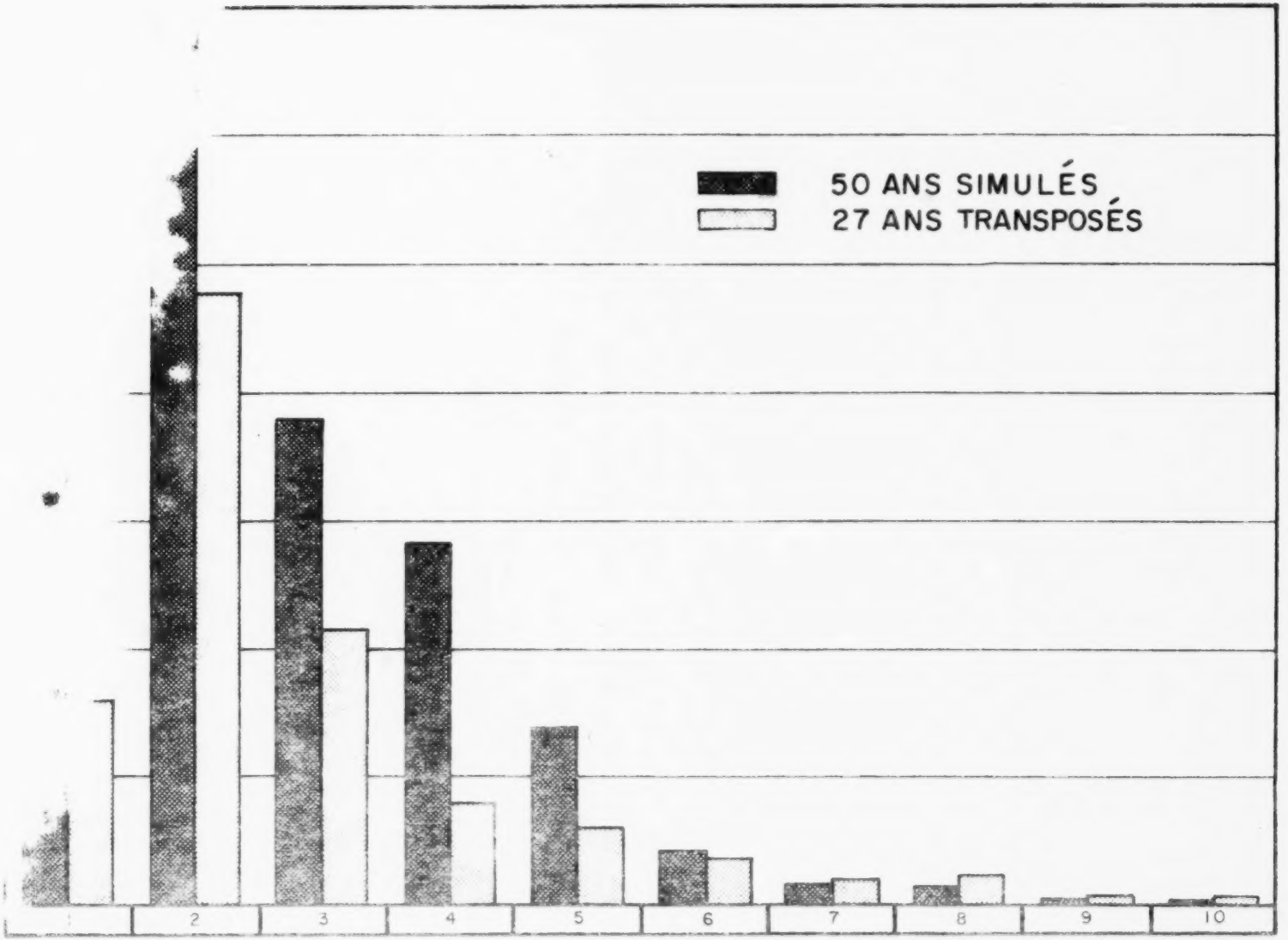


Figure 17: Histogramme des valeurs standardisées positives des 27 ans transposés et des 50 ans simulés pour la Petite Rivière Au Renard.

Notre population est de type leptokurtique* et asymétrique . Par ces caractéristiques, nous présumons qu'une fonction gamma représenterait bien notre distribution.

4.3 Modèle de simulation de type gamme

Pour pouvoir simuler une série de débits mensuels appartenant à une distribution gamma, il faut d'abord choisir une fonction analytique appartenant à cette famille. Nous avons ici choisi une fonction gamma à deux paramètres.

La fonction choisie est:

$$G(x) = \frac{(e^{-x/2g}) \quad (x^{h/2 - 1})}{(2g)^{h/2} \quad \Gamma^{(h/2)}}$$

pour $x > 0$

Dans cette fonction, g est un paramètre d'échelle et h est le nombre effectif de degré de liberté.

Générer cette fonction gamma nécessite que toutes les valeurs soient positives. Pour réaliser cette donnée

---

* Définition: le type leptokurtique défini une distribution ayant une tendance centrale très élevée.

de base, nous devons transformer notre série standardisée en soustrayant de celle-ci la plus petite valeur que nous appelerons VSP_T.

Le calcul des paramètres g et h de la fonction gamma par la méthode des moments donne:

$$a = \frac{1}{12N} \sum_{t=1}^{12N} VSP_T = gh$$

$$b = \frac{1}{12N} \sum_{t=1}^{12N} (VSP_T)^2 = g^2 h\,(h-2)$$

La solution de ces deux équations est:

$$g = \frac{b - a^2}{2a} \quad \text{et} \quad h = \frac{2a^2}{b - a^2}$$

En effectuant la première série d'opérations, nous trouvons que $a = 1.39$ et $b = 2.93$; d'où $g = 0.360$ et $h = 3.86$; ce qui entraine que la fonction gamme choisie auparavant est:

$$G(x) = 1.94\ x^{0.93}\ e^{-1.39x}$$

Nous pouvons maintenant générer une série aléatoire. Pour ce faire, nous suivrons la méthode Monte-Carlo dont les étapes principales sont:

a) génération d'une série uniforme,

b) génération d'une série normale standardisée,

c) génération d'une série gamma.

Les calculs sont effectués à l'aide d'un programme mécanographique mis au point par le ministère des Richesses naturelles. Nous présentons au tableau VII les données simulées pour 50 ans sur la Petite rivière au Renard. Les débits pour la rivière Petite Fourche sont dans le rapport de l'aire des bassins versants.

4.4 Vérification du modèle de simulation

Pour fin d'analyse, à la figure 17, nous superposons l'histogramme des cinquante années simulées sur le graphique des 27 années transposées. Ce parallèle nous permet déjà d'apprécier la similitude entre cette distribution et celle des 27 années transposées.

Nous avons effectué le test du chi-carré sur chacune des séries afin de vérifier que les deux échantillons proviennent bien de la population gamma. En négligeant les quelques écarts observés aux extrêmes, le test a prouvé de façon probante la validité de la méthode de simulation.

ANNEE SIMULEE	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	10.29	5.40	3.29	116.41	109.39	10.39	21.25	11.78	3.36	5.99	3.43	10.36
2	3.69	2.36	2.22	43.43	104.07	54.30	15.59	3.61	3.17	2.61	7.35	2.65
3	7.58	7.43	5.37	140.18	100.44	29.21	9.33	1.18	2.50	2.47	6.63	2.77
4	4.94	8.72	1.69	51.11	102.83	67.96	2.78	6.65	18.97	0.28	3.43	3.93
5	2.67	1.47	1.25	38.53	86.88	14.85	21.94	4.29	13.82	4.15	30.72	12.07
6	1.11	0.23	0.90	9.89	135.42	15.44	4.89	5.51	3.88	11.74	3.63	2.60
7	3.63	3.66	2.93	6.65	134.09	61.84	6.64	0.25	6.26	5.13	9.46	4.77
8	3.75	6.29	3.86	87.48	91.04	10.36	19.58	8.90	4.94	3.19	6.28	8.17
9	5.67	4.92	0.89	72.04	75.11	97.83	13.45	12.51	3.32	3.76	3.16	15.32
10	3.21	5.63	2.24	31.62	154.66	16.27	7.90	17.74	1.74	15.55	11.53	10.36
11	7.06	0.30	1.64	73.11	156.71	10.81	9.70	3.00	5.77	17.04	6.35	10.36
12	7.68	1.47	0.26	35.07	167.20	11.31	12.41	0.73	1.18	5.28	4.68	1.55
13	4.51	3.63	3.38	143.17	111.65	8.46	0.42	8.39	17.81	2.93	10.33	0.82
14	5.56	2.23	0.01	34.76	78.89	27.19	23.26	4.59	28.13	1.67	6.40	12.11
15	2.00	2.77	3.61	85.95	131.15	65.17	20.74	10.38	1.06	5.06	12.76	10.36
16	9.21	0.90	6.99	42.27	139.45	84.80	5.59	7.95	7.91	2.46	23.74	4.84
17	5.85	2.90	2.65	24.59	117.48	19.15	9.15	0.19	6.26	10.37	5.93	21.91
18	10.43	2.01	0.77	23.48	119.81	7.59	4.44	5.02	15.11	8.67	6.69	2.47
19	4.28	3.27	3.26	43.43	87.78	71.36	1.07	15.59	2.33	1.22	13.48	24.85
20	3.15	8.72	6.09	46.93	114.87	63.01	26.26	6.65	6.18	11.40	8.53	10.36
21	13.33	1.68	1.76	16.91	169.75	61.42	3.87	10.04	1.41	4.13	6.04	11.64
22	5.53	0.70	6.75	43.43	98.92	60.51	12.61	33.31	8.48	6.11	8.51	7.39
23	2.72	2.20	0.36	11.12	130.08	5.30	14.08	6.16	15.06	1.55	19.77	11.72
24	9.65	2.61	0.45	4.08	92.41	66.74	15.24	6.65	12.08	4.88	11.12	8.45
25	0.60	1.92	2.30	34.06	113.87	15.14	13.61	8.25	8.57	6.05	2.05	21.27
26	4.48	4.02	2.93	43.43	93.20	25.19	17.39	2.87	6.26	14.07	8.06	8.92
27	1.43	10.92	0.42	64.10	83.67	24.24	31.87	6.65	3.94	19.08	12.49	16.29

suite ...

- S U I T E -

ANNEE IMULEE	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
28	8.82	4.01	2.93	27.08	72.67	42.06	14.95	6.58	1.72	4.16	5.86	10.36
29	3.42	2.56	4.94	16.47	143.21	44.54	9.08	3.51	6.26	10.78	1.62	10.19
30	10.55	0.42	3.57	34.63	97.59	16.82	10.37	4.22	6.26	18.40	5.11	11.90
31	7.86	3.68	2.66	57.58	92.30	4.44	15.07	14.86	7.19	0.32	15.54	9.13
32	10.11	2.23	0.94	47.88	96.57	25.03	2.99	3.20	8.37	11.16	8.83	5.78
33	3.80	2.11	11.83	1.09	125.93	6.09	5.26	13.40	6.26	11.83	8.67	10.50
34	3.86	5.75	1.54	27.19	134.83	51.56	2.96	7.31	10.42	0.70	12.08	2.87
35	7.39	3.60	2.93	43.43	240.66	39.85	8.83	7.15	4.21	1.41	3.32	7.73
36	2.50	0.13	0.11	43.43	70.69	52.37	4.85	8.38	1.18	4.78	19.57	8.10
37	9.36	5.57	4.16	38.70	78.76	70.52	19.40	11.74	6.91	8.86	9.86	10.39
38	8.26	2.27	0.90	56.29	143.69	5.33	7.11	11.59	5.77	6.06	5.73	47.14
39	5.16	4.76	3.08	33.31	168.67	9.36	6.51	6.72	7.61	2.88	16.74	9.17
40	0.82	0.10	7.15	15.07	108.28	4.71	4.97	6.65	6.26	14.66	5.55	7.13
41	4.10	2.76	9.06	84.37	140.58	19.51	9.10	4.59	6.26	0.86	5.09	6.68
42	0.67	2.19	6.17	104.88	157.76	18.10	3.64	1.08	4.69	10.64	7.42	7.69
43	3.12	4.54	2.01	86.46	149.60	7.01	2.50	7.15	2.46	2.67	15.56	5.01
44	1.83	0.96	8.50	12.94	141.88	4.10	16.77	7.33	1.23	5.43	1.82	11.75
45	3.73	2.79	2.90	2.80	72.25	122.77	19.11	10.38	1.93	13.70	16.67	17.55
46	6.45	2.47	2.93	45.11	135.71	30.76	7.87	10.62	4.74	0.81	8.32	16.94
47	1.63	0.63	4.73	68.00	66.93	40.20	0.73	4.71	0.56	10.60	6.79	5.89
48	5.87	4.60	3.55	12.48	161.85	24.39	5.85	5.57	7.96	8.08	17.55	13.91
49	1.46	5.26	2.93	43.43	183.23	71.11	8.14	13.92	12.11	12.11	5.61	9.75
50	1.50	8.61	2.84	116.65	115.15	61.81	5.70	9.09	10.28	13.31	5.03	3.42

Tableau VII: Débits moyens mensuels simulés sur la Petite Rivière Au Renard.

Cependant, nous remarquons que la génération des débits présente des faiblesses. La méthode de simulation peut amener un écart assez grand entre la moyenne et l'écart-type pour les 27 ans et les 50 ans. La moyenne du mois de juillet, par exemple qui est présentée au tableau VIII, nous montre un écart assez grand entre les 27 années observées et les 50 années simulées. Signalons, enfin, d'après le tableau IX le maximum et le minimum observés pour les 27 ans sont 221.0 p.c.s. et 0.6 p.c.s. et le maximum et le minimum calculés pour 50 ans sont 240.7 p.c.s. et 0.1 p.c.s. ce qui donne des valeurs acceptables.

MOIS	SERIE TRANSPOSEE (27 ans)		SERIE SIMULEE (50 ans)	
	Moyenne p.c.s.	Ecart-type	Moyenne p.c.s.	Ecart-type
1	4.8	3.4	5.1	3.1
2	3.0	2.1	3.4	2.5
3	2.9	2.7	3.2	2.5
4	43.4	39.8	47.7	34.0
5	117.4	38.7	120.4	35.4
6	40.2	27.6	35.6	28.1
7	8.6	6.7	10.7	7.2
8	6.7	6.9	7.8	5.4
9	6.3	6.1	6.8	5.3
10	7.4	5.4	7.0	5.2
11	10.1	6.7	9.2	5.9
12	10.4	10.6	10.2	7.4

Tableau VIII: Comparaison des débits moyens et des écart-types entre les séries transposée et simulée pour le bassin de la Petite Rivière Au Renard.

MOIS	SERIE TRANSPOSEE (27 ans)		SERIE SIMULEE (50 ans)	
	Minimum p.c.s.	Maximum p.c.s.	Minimum p.c.s.	Maximum p.c.s.
1	0.8	15.6	0.6	13.3
2	0.8	10.6	0.1	10.9
3	0.6	14.2	0.1	11.8
4	2.7	133.0	1.1	143.2
5	64.7	221.0	66.9	240.7
6	10.7	98.6	4.1	122.8
7	1.6	31.4	0.4	31.9
8	1.9	35.9	0.2	33.3
9	1.4	26.3	0.6	28.1
10	1.7	23.7	0.3	19.1
11	1.4	31.0	1.6	30.7
12	1.0	43.6	0.8	47.1

Tableau IX: Comparaison des débits minimum et maximum entre les séries transposée et simulée pour le bassin de la Petite Rivière Au Renard.

CHAPITRE V

REGULARISATION DES DEBITS

5.1 Généralités

Les chapitres précédents ont démontré l'existence d'eau en quantité importante sur le territoire étudié. Le printemps, par exemple le débit des rivières peut facilement dépasser les 100 p.c.s. pour la Petite rivière au Renard et les 200 p.c.s. pour la rivière Petite Fourche. Cependant, en période d'étiage ces débits ne sont plus que de 0.5 p.c.s. pour la première rivière et de 0.8 p.c.s. pour la seconde. En somme il y a beaucoup d'eau sur le territoire mais elle n'est pas disponible toute l'année durant. D'où la nécessité d'implanter des réserves artificielles susceptibles de compenser un débit trop faible en période d'étiage. Pour chaque emmagasinement créé, correspond un débit garanti maximal. Et pour connaître ce débit, des études précises sur la gestion de réservoir sont nécessaires pour maximiser les gains en tenant compte de toutes les contraintes physiques et hydrométriques des bassins impliqués.

La présente étude de régularisation a pour seul but immédiat de définir, pour les bassins de la Petite rivière au Renard et de la rivière Petite Fourche, le débit garanti à 90% du temps en fonction de la capacité d'emmagasinement de réservoirs théoriques dont les restrictions physiques de dimensions ne sont pas en cause. De ce premier jalon, des études ultérieures permettront de distinguer la solution pratique et économique.

5.2 Paramètres de la régularisation

Le projet de régularisation dans son ensemble comporte la construction de deux réservoirs: le premier sur la Petite rivière au Renard et le second sur la rivière Petite Fourche immédiatement à l'aval du confluent du petit tributaire qui sert de décharge au lac d'Amours. L'eau ainsi stockée dans cette dernière réserve est pompée dans le bassin de la Petite rivière au Renard.

Les critères généraux établis pour l'étude analytique de la régularisation sont les suivants:

- connaissance des apports pour les mois subséquents au mois étudié,

- période choisie: vingt-sept années historiques et cinquante ans simulés
- opérer un cycle d'exploitation selon l'année hydrologique commençant au début du dégel du printemps avec un réservoir vide et se terminant à la fin de la période sèche d'hiver de l'année suivante avec un réservoir vide,
- aucune limite sur le débit maximal des pompes.

5.3 Modèle mécanographique

La méthodologie de la régularisation utilisée dans notre étude est résumée dans l'organigramme en annexe. La terminologie employée est jointe dans le même appendice.

Le langage "FORTRAN IV" pour ordinateur UNIVAC nous a permis de traiter les données dans l'étude de régularisation. Nous présentons en annexe la liste des énoncés de ce programme titré REGFOX.

Nous présentons au tableau 10 une année type, 1949-50, des résultats du modèle mécanographique où les réserves sur les bassins de Petite Fourche et Petite rivière au Renard sont respectivement de 75 et 40 millions de pieds cubes.

RIVIERE PETITE FOURCHE

MOIS	ANNEE	APPORT p.c.s.	RESERVE MAX: 29.0 p.c.s.	DEBIT REGUL. p.c.s.	DEBIT SORTIE p.c.s.	DEBIT POMPE p.c.s.	DEBIT FOURCH p.c.s.
4	1949	44.2	29.0	25.7	30.0	8.5	21.5
5	1949	127.0	29.0	25.3	127.0	8.5	118.6
6	1949	40.1	29.0	15.2	40.1	8.5	31.7
7	1949	9.1	29.0	12.4	12.4	8.5	.7
8	1949	7.1	27.6	12.8	12.8	8.5	.0
9	1949	10.3	29.0	13.4	13.4	8.5	.5
10	1949	8.6	29.0	14.2	14.2	8.5	.2
11	1949	10.5	29.0	15.3	15.3	8.5	2.1
12	1949	15.4	29.0	16.5	16.5	8.5	7.0
1	1950	10.0	29.0	16.9	16.9	8.5	1.6
2	1950	5.1	25.6	20.3	20.3	8.5	.0
3	1950	6.6	23.8	32.2	32.2	8.5	.0

PETITE RIVIERE AU RENARD

MOIS	ANNEE	APPORT RENARD p.c.s.	APPORT TOTAL p.c.s.	RESERVE MAX: 15.4 p.c.s.	DEBIT REGUL. p.c.s.	DEBIT SORTIE p.c.s.
4	1949	28.3	36.8	12.6	24.1	24.1
5	1949	81.3	89.8	15.4	24.1	86.9
6	1949	25.7	34.2	15.4	17.9	34.2
7	1949	5.9	14.4	13.8	16.0	16.0
8	1949	4.5	13.0	10.7	16.0	16.0
9	1949	6.6	15.1	9.7	16.0	16.0
10	1949	5.5	14.0	7.6	16.0	16.0
11	1949	6.7	15.2	6.7	16.0	16.0
12	1949	9.8	18.3	8.9	16.0	16.0
1	1950	6.4	14.9	7.7	16.0	16.0
2	1950	3.3	11.8	3.4	16.0	16.0
3	1950	4.2	12.7	.0	16.0	16.0

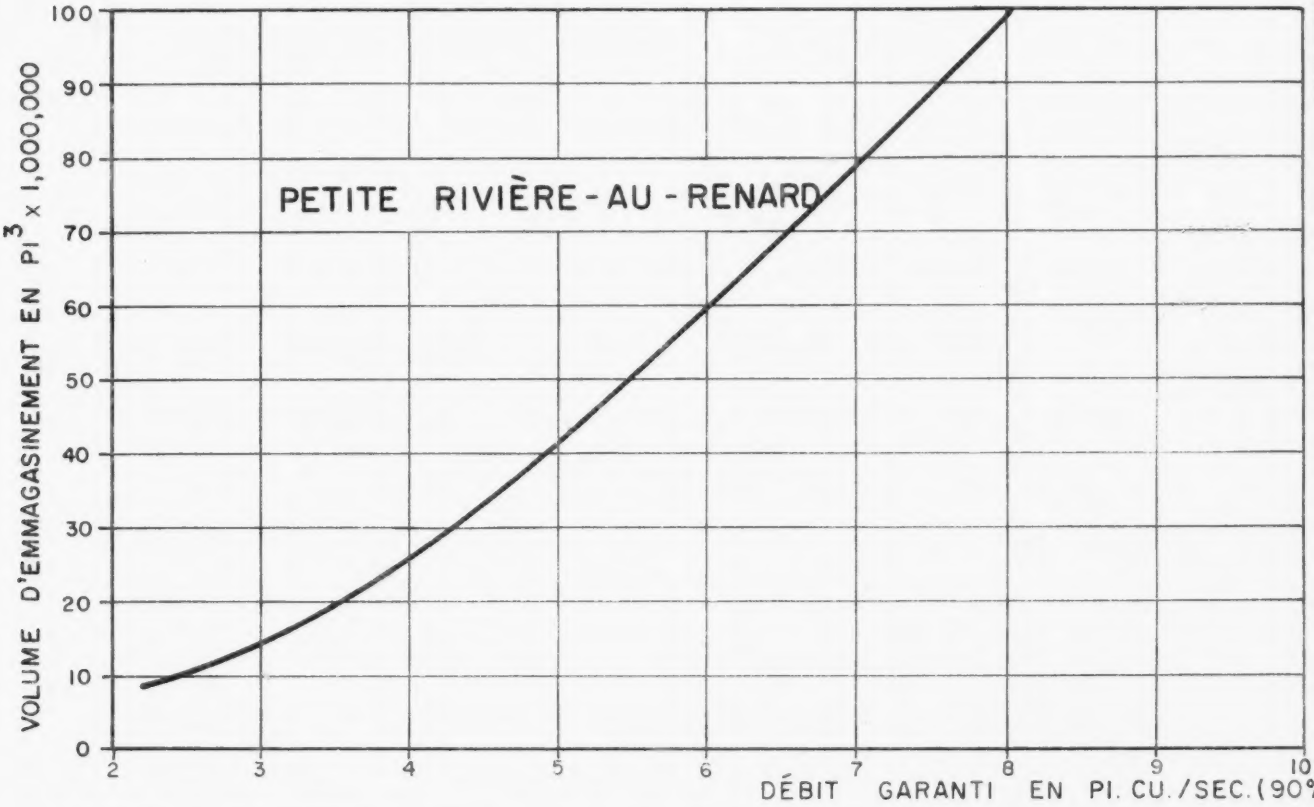
Tableau X: Régularisation pour l'année 1949-1950.

5.4 Régularisation

5.4.1 Analyse des résultats par cycles d'opération

On a analysé sur les rivières étudiées l'amélioration apportée par la régularisation annuelle aux débits obtenus à Petite rivière au Renard. A cette fin, nous avons effectué plusieurs essais. Les premiers en ne considérant pas le réservoir sur la Petite Fourche. Ainsi, nous avons trouvé pour chaque grandeur de volume d'emmagasinement sur le bassin de Petite rivière au Renard, un débit minimal garanti dépassé dans 90% des 77 cycles étudiés. Le résultat est présenté à la figure 18.

De même, l'étude du bassin de la Petite Fourche nous a permis d'obtenir, à la figure 18, le volume d'emmagasinement en pieds cubes en fonction du débit minimal garanti en pi.^{3}/sec. pour une occurrence de 90% du temps. Ce débit pourra être éventuellement pompé et ajouté au débit de Petite rivière au Renard ce qui théoriquement résultera aux familles de courbes construites à la figure 19. A titre d'exemple, reprenons l'essai type où les réserves sont de 75 et 40 m.p.c., nous avons alors obtenu de 13.3 pi.^{3}/sec. à plus de 93%, soit 72 fois sur 77 cycles.



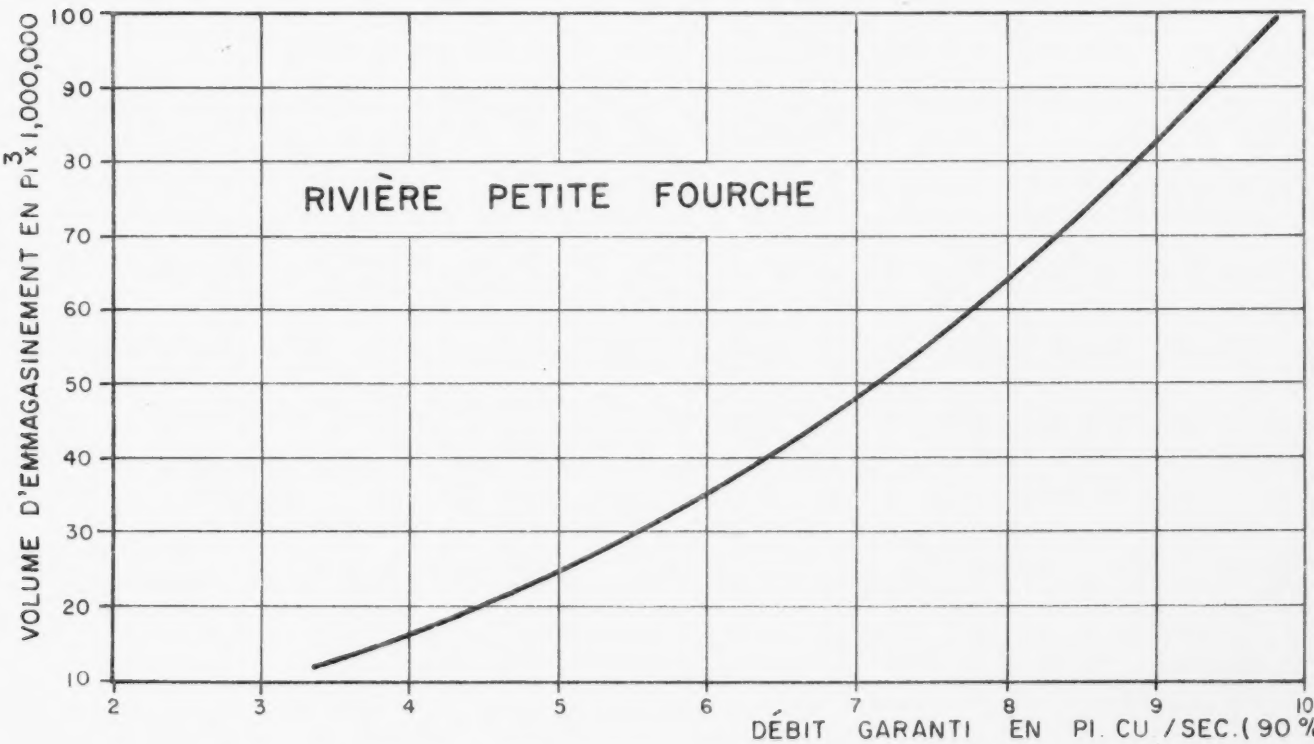


Figure 18: Volume d'emmagasinement en pi.^{3} à la Petite Rivière Au Renard et à la Petite Fourche en fonction du débit garanti à 90%.

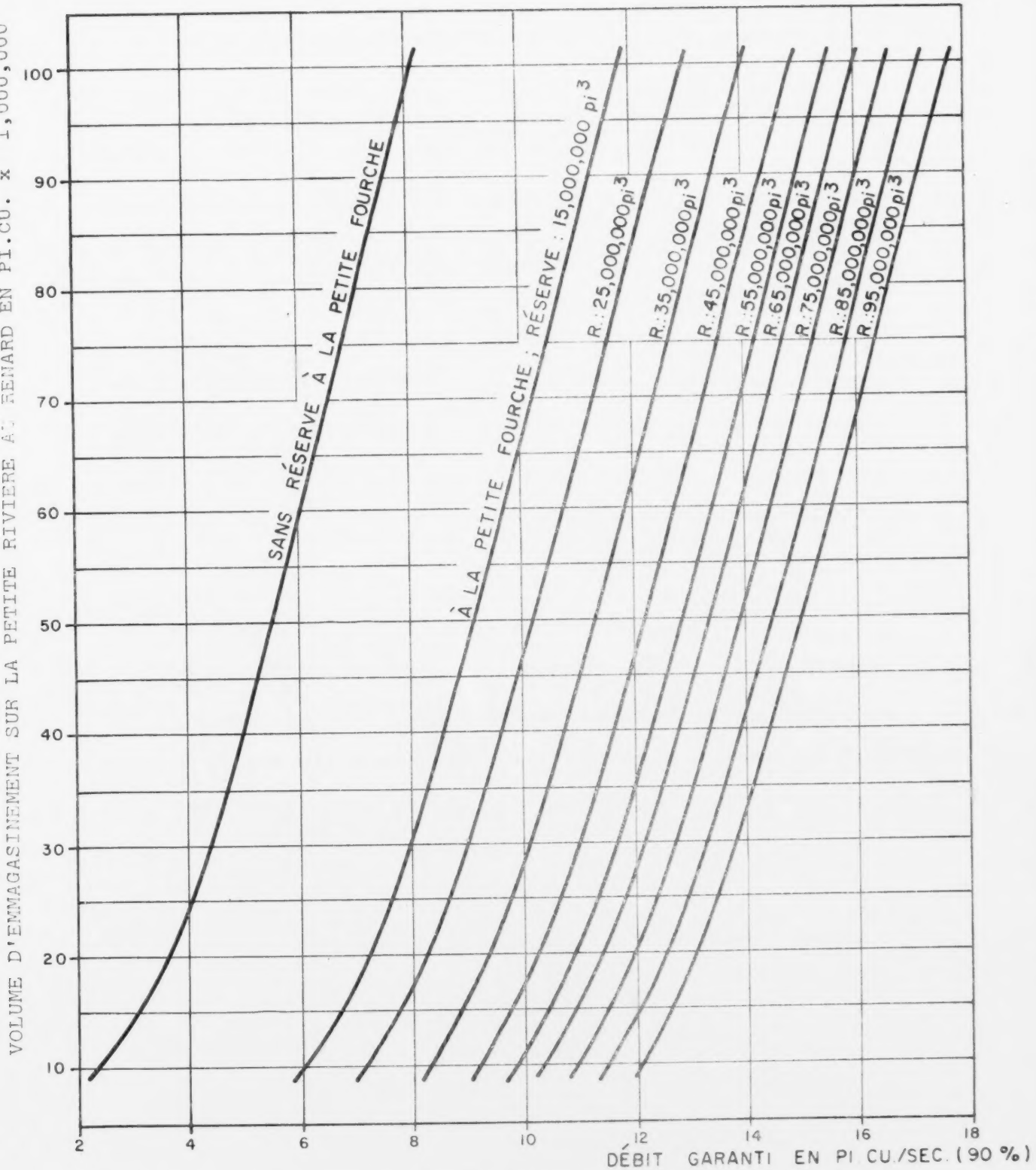


Figure 19: Courbes d'emmagasinement en fonction du débit garanti à 90% pour les réserves de Petite Rivière Au Renard et Petite Fourche combinés.

5.4.2 Analyse des résultats par mois

Afin de mieux visualiser les résultats obtenus, nous avons étudié le comportement du régime de la Petite rivière au Renard sur une base mensuelle. Dans l'exemple cité aux paragraphes précédents, le débit de 13.3 pi. ^{3}/sec. à la sortie du réservoir sur la Petite rivière au Renard a été respecté pour 881 mois sur 924, soit 94% du temps. Ces interprétations par mois des résultats affermissent nos calculs précédents en étant même sécuritaires sur les normes fixées du niveau de confiance à 90%.

Nous avons schématisé à la figure 20 l'amélioration apportée pour l'année 1949-50 les réserves de 75 et 40 m.p.c. sur les bassins de Petite Fourche et Petite rivière au Renard. Comme le montre le graphique, le débit régularisé total est de 16.04 pi. ^{3}/sec. qui est la somme des 8.45 pi.^{3}/sec. pompé et de 7.59 pi. ^{3}/sec. régularisé à la Petite rivière au Renard pour cette année moyenne. Sur la figure 18, ces réserves donneraient 13.3 pi. ^{3}/sec. régularisé à 90% du temps.

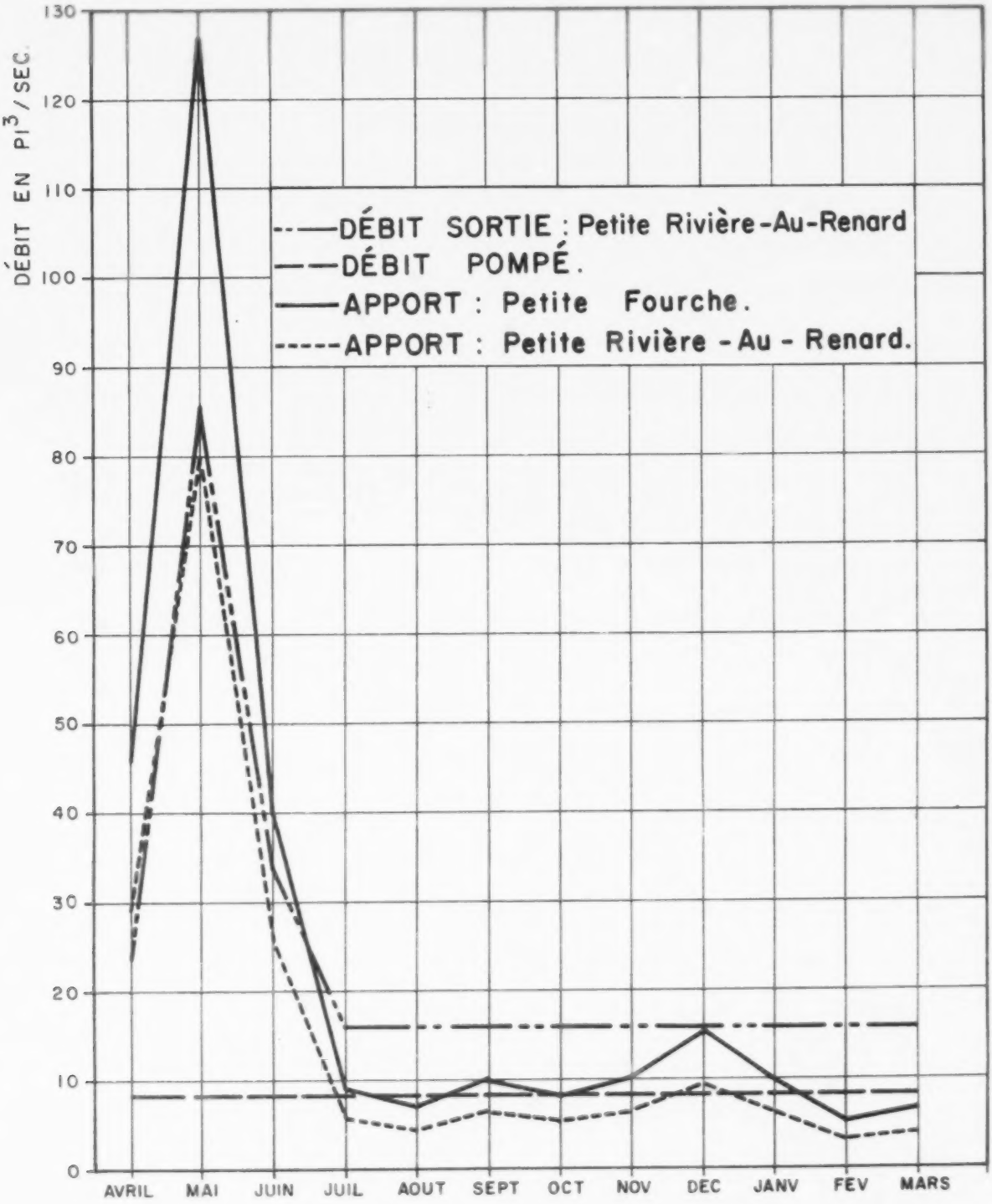


Figure 20: Exemple de régularisation, année 1949.
Réserve sur Petite Rivière Au Renard: 40 m.p.c.
Réserve sur Petite Fourche: 75 m.p.c.

5.5 Conclusion

Comme l'indique la figure 19, les courbes croissent linéairement à partir d'une réserve de 35 m.p.c. i.e. que le débit garanti est directement proportionnel au volume d'emmagasinement de la crue du printemps. Or, cette crue permet en moyenne une réserve de 400 m.p.c. qui donnerait un débit régularisé de beaucoup supérieur à la demande. En résumé, les contraintes physiques et économiques seront déterminantes dans l'acceptation finale du choix des réserves.

CHAPITRE VI

CONCLUSION

L'étude hydrologique des bassins de la Petite Fourche et de la Petite rivière au Renard a démontré la disponibilité de la ressource eau pour alimenter le complexe industriel de la localité Rivière-Au-Renard.

La transposition des mesures hydrométriques de grandes rivières sur de très petits bassins demeure approximative. En effet, bien que nous possédions quelques données sur les rivières étudiées, la valeur réelle de la période historique estimée et, par extension, la série générée ne peut être connue de façon exacte. Les méthodes simples employées permettent, croyons-nous, d'éviter des spéculations hasardeuses. Aussi, le régime particulier des cours d'eau régionaux où 80% de l'écoulement annuel se produit le printemps rend moins important la précision des étiages puisque le problème de régularisation devient une question d'emmagasinement possible de la crue printanière.

BIBLIOGRAPHIE

CORPS OF ENGINEERS, U.S. ARMY

"Flood-Hydrograph analysis and computation", U.S. Gov. Printing Office, Washington 25, 1959.

FERLAND, M.G. et GAGNON, R.M.

"Atlas de hauteur, fréquence et durée des pluies au Québec Méridional", gouv. du Québec, M.R.N., publication MP.-51, 1972.

KIMBALL, B.F.

"Assigment of frequencies to a completely ordered set of sample data", Am. Geophys., Union Trans., v.27, p.843-846, 1946.

KITE, G.W. et PENTLAND, R.L.

"Data Generating Methods in Hydrology", Gouv. du Canada, Inland Water Branch, technical bulletin no. 36, 1971.

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, CANADA

"Température et Précipitation 1941-1970, Québec", 1972.

MORIN, G.

"Rivière Eaton, Etude statistique des débits", gouv. du Québec, M.R.N., publication D.H.Q.-4, 1969.

MORIN, G.

"Exploitation d'un réservoir", thèse de maitrise, Université Laval, Québec, 1970.

POULIN, R.

"Projet de régularisation du lac Champlain", gouv. du Québec, M.R.N., rapport du service de l'Aménagement, 1972.

ROCHE, M.

"Hydrologie de surface", Gauthier-Villars, Paris, 1963, p.81, pp. 323-328.

SNYDER, F.F.

"Synthetic unit graphs", Trans. Amer. Geophys. Union 19: 447-454.

SPIEGEL, M.R.

"Theory and Problems of Statistics", Schaum's outline series, McGraw-Hill Book Company, 1961.

U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE

"National Engineering Handbook", sec.4, supplement A, 1957 (30 ed. in press, 1963).

ANNEXE

PROGRAMME MECANOGRAPHIQUE

LISTE DES PRINCIPALES VARIABLES

UTILISEES DANS LE PROGRAMME

ET L'ORGANIGRAMME DE REGULARISATION

REGFOX

APP : Vecteur d'apport de la Petite Fourche.

APR : Vecteur d'apport de la Petite Rivière-Au-Renard.

APT : Vecteur d'apport de la Petite Rivière-Au-Renard plus le pompage de la Petite Fourche.

DE : Débit de sortie.

DER : Débit de sortie à la Petite Rivière-Au-Renard.

DF : Débit de sortie dans la Petite Fourche.

DP : Débit pompé.

DPDF : Vecteur de pompage.

DPMAX : Pompage maximum à la Petite Fourche.

DRC : Débit régularisé calculé.

DRCR : Débit régularisé à la Petite Rivière-Au-Renard.

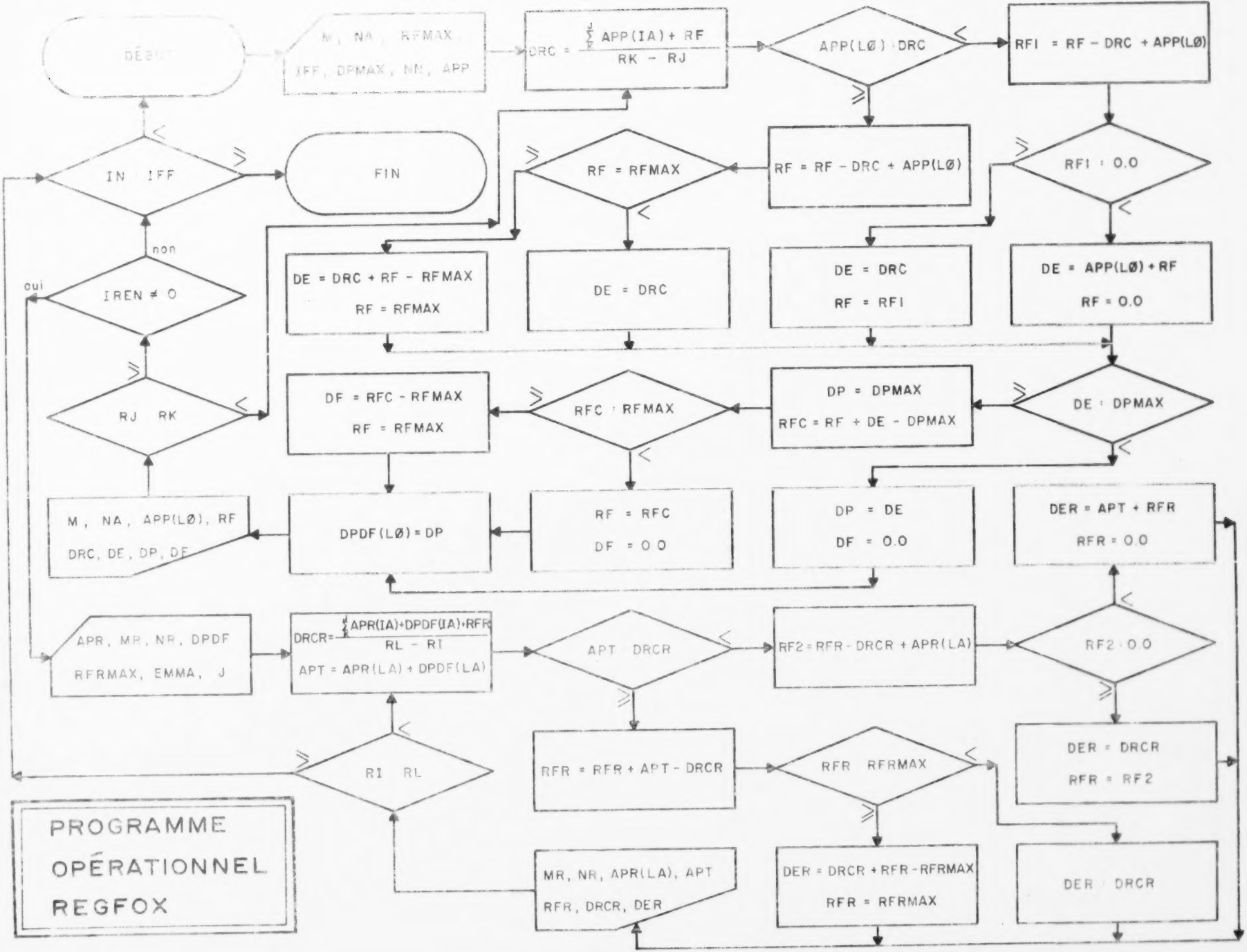
IFF : Nombre d'années utilisées pour la régularisation.

IN : Année en cours pour la régularisation.

IREN : Si égale 0 régularisation pour la Petite Fourche seule

Si égale 1 régularisation pour la Petite Fourche et la Petite Rivière-Au-Renard.

M	:	Mois du commencement du cycle.
MR	:	Mois du commencement du cycle pour la Petite Rivière-Au-Renard.
NA	:	Année du commencement du cycle.
NN	:	Vecteur de contrôle à IFF composante.
NR	:	Année du commencement du cycle pour la Petite Rivière-Au-Renard.
RF	:	Réserve.
RFC	:	Réserve à la Petite Fourche calculée.
RFMAX	:	Réserve maximale à la Petite Fourche.
RFR	:	Réserve à la Petite Rivière-Au-Renard.
RI	:	Indice du mois en cours pour la Petite Rivière-Au-Renard.
RJ	:	Indice du mois en cours pour la Petite Fourche.
RK	:	Nombre total de mois dans le cycle pour la Petite Fourche.
RL	:	Nombre total de mois dans le cycle pour la Petite Rivière-Au-Renard.


DÉBUT
M, NA, RFMAX, IFF, DPMAX, NN, APP
DRC = (Σ APP(IA) + RF) / (RK − RJ)
APP(LØ) : DRC
RFI = RF − DRC + APP(LØ)
IN : IFF
FIN
RF = RFMAX
RF = RF − DRC + APP(LØ)
RFI : 0.0
non
oui
IREN ≠ 0
DE = DRC + RF − RFMAX
RF = RFMAX
DE = DRC
DE = DRC
RF = RFI
DE = APP(LØ) + RF
RF = 0.0
RJ : RK
DF = RFC − RFMAX
RF = RFMAX
RFC : RFMAX
DP = DPMAX
RFC = RF + DE − DPMAX
DE : DPMAX
M, NA, APP(LØ), RF
DRC, DE, DP, DF
DPDF(LØ) = DP
RF = RFC
DF = 0.0
DP = DE
DF = 0.0
DER = APT + RFR
RFR = 0.0
APR, MR, NR, DPDF
RFRMAX, EMMA, J
DRCR = (Σ APR(IA)+DPDF(IA)+RFR) / (RL − RI)
APT = APR(LA) + DPDF(LA)
APT : DRCR
RF2 = RFR − DRCR + APR(LA)
RF2 : 0.0
RI : RL
RFR = RFR + APT − DRCR
RFR : RFRMAX
DER = DRCR
RFR = RF2
MR, NR, APR(LA), APT
RFR, DRCR, DER
DER = DRCR + RFR − RFRMAX
RFR = RFRMAX
DER : DRCR
PROGRAMME OPÉRATIONNEL REGFOX

```
C      PROGRAMME OPERATIONNEL REGROX VISANT A
C      LA REGULARISATION DE LA RIVIERE PETITE FOURCHE
C
C      REGULARISATION EFFECTUEE A L'AIDE D'UNE SIMULATION
C
C      CONTRAINTE IMPOSEE SUR LA RESERVE MAXIMUM
C      ET LE DEBIT DE POMPAGE MAXIMUM
C
C      LISTE DES PRINCIPAUX SYMBOLES UTILISES DANS CE PROGRAMME
C
C           APP= VECTEUR D'APPORT DE LA FOURCHE
C             NN= VECTEUR DE CONTROLE A TEE COMPOSANTES
C            TEE= NOMBRE D'ANNEES
C            DPC=DEBIT REGULARISE CALCULE
C            DE = RESERVE
C           REMAX= RESERVE MAXIMUM A LA FOURCHE
C            DPMAX= POMPAGE MAXIMUM A LA FOURCHE
C            DS = DEBIT DE SORTIE
C            DP = DEBIT POMPE
C           DPDE= VECTEUR DE POMPAGE
C            DE = DEBIT DANS LA FOURCHE
C
C                        ****************
C
      DIMENSION APP(15),NN(50)
      DIMENSION APP(15),DPDE(15)
      READ(5,33)TEEN
   33 FORMAT(I5)
      WRITE(6,55)
   55 FORMAT(1H1)
      READ(5,19)M,NA
   19 FORMAT(2I6)
      KO=1
      MP=M
      NP=NA
      READ(5,12)REMAX,TEE,DPMAX
      READ(5,22)DERMAX
      READ(5,13)(NN(KL),KL=1,TEE)
   12 FORMAT(F10.0,I10,F10.2)
   22 FORMAT(F10.0)
   13 FORMAT(16I5/16I5/16I5/16I5/13I5)
      EMMA=2590000.0
      II=0
      DE=0.0
      DO 1 IN=1,TEE
      II=II+1
      I=NN(II)
```

```
      LO=0
      IF(J.EQ.12)GO TO 30
      IF(J.EQ.13)GO TO 31
      READ(5,15)(APP(KL),KL=1,11)
      READ(5,15)(APP(KL),KL=1,11)
   15 FORMAT(11F6.1)
      GO TO 25
   30 READ(5,16)(APP(KL),KL=1,12)
      READ(5,16)(APP(KL),KL=1,12)
   16 FORMAT(12F6.1)
      GO TO 25
   31 READ(5,17)(APP(KL),KL=1,13)
      READ(5,17)(APP(KL),KL=1,13)
   17 FORMAT(13F6.1)
   25 K=0
      WRITE(6,50)
   50 FORMAT(41X,22HRETVIERE PETITE FOURCHE///)
      WRITE(6,900)
  900 FORMAT(1X,4HMOIS,3X,5HANNEE,9X,6HAPPORT,8X,7HRESERVE,10X,5HDEBIT,9
     1X,5HDEBIT,10X,5HDEBIT,10X,5HDEBIT/53X,6HREGUL.,8X,6HSORTIE,9X,5HPO
     1MPE,9X,7HFOURCHE)
      RK=J
      RJ=0.0
    9 SOMT=0.0
      K=K+1
      DO 18 IA=K,J
      SOMT=SOMT+APP(IA)
   18 CONTINUE
      DBC=(SOMT+RE)/(RK-RJ)
      LO=LO+1
      IF(APP(LO).LT.DBC)GO TO 100
      RE=RE+(APP(LO)-DBC)
      IF(RE.LT.(REMAX/EMMA))GO TO 200
      DBC=DBC+(RE-(REMAX/EMMA))
      RE=REMAX/EMMA
      GO TO 1000
  200 RE=DBC
      GO TO 1000
  100 RE1=RE-(DBC-APP(LO))
      IF(RE1.LT.0.0)GO TO 101
      DBC=DBC
      RE=RE1
      GO TO 1000
  101 DBC=APP(LO)+RE
      RE=0.0
 1000 IF(DBC.LE.REMAX)GO TO 300
      DBC=REMAX
      RE=RE+(DBC-REMAX)
      IF(RE.LT.(REMAX/EMMA))GO TO 400
      DBC=DBC-(REMAX/EMMA)
```

```
      RF=RFMAX/FMMA
      GO TO 2000
  400 RF=RF+(DF-DPMAX)
      DF=0.0
      GO TO 2000
  300 DP=DF
      DF=0.0
 2000 WRITE(6,2001)M,APF(L0),RF,DPC,DF,DP,DF
 2001 FORMAT(1X,I4,8H    STMU,4F15.4)
 2002 DPDF(L0)=DP
      M=M+1
      IF(M.EQ.13)GO TO 37
      GO TO 38
   37 M=1
      N8=N8+1
   38 DJ=DJ+1.0
      IF(DJ.LT.DK)GO TO 8
      WRITE(6,20)
   20 FORMAT(//////)
      IF(IPEN.EQ.0)GO TO 420
      CALL PENARD(APF,DPDF,J,FMMA,RFRMAX,MR,NR)
      WRITE(6,55)
      GO TO 421
  420 K0=K0+1
      IF(K0.EQ.4)GO TO 422
      GO TO 421
  422 K0=1
      WRITE(6,55)
  421 CONTINUE
    1 CONTINUE
      STOP
      END
```

```
      SUBROUTINE RENARD(APR,DRDE,J,EMMA,REMAX,MR,NR)
C          APR= VECTEUR D'APPORT DE LA  PETITE RIVIERE-AUX-RENARDS
C           RER= RESERVE AUX RENARDS
C         REMAX=RESERVE MAXIMUM AUX RENARDS
C           DER= DEBIT DE SORTIE AUX RENARDS
      DIMENSION APR(J),DRDE(J)
      WRITE(6,54)
   54 FORMAT(35X,19HRIVIERE-AUX-RENARDS///)
      WRITE(6,56)
   56 FORMAT(1X,4HMOIS,3X,5HANNEE,9X,6HAPPORT,9X,6HAPPORT,8X,7HRESERVE,1
     10X,5HDEBIT,9X,5HDEBIT/21X,6HRENARD,10X,5HTOTAL,24X,6HREGUL.,8X,6HS
     1ORTIE)
      LA=0
      K=0
      PL=J
      RT=0.0
      RER=0.0
  271 RINT=0.0
      K=K+1
      DO 27 I=K,J
      RINT=RINT+APR(I)+DRDE(I)
   27 CONTINUE
      DRCR=(RINT+RER)/(PL-RT)
      LA=LA+1
      APT=APR(LA)+DRDE(LA)
      IF(APT.LT.DRCR)GO TO 250
      RER=RER+(APT-DRCR)
      IF(RER.LT.(REMAX/EMMA))GO TO 251
      DER=DRCR+(RER-(REMAX/EMMA))
      RER=REMAX/EMMA
      GO TO 3000
  251 DER=DRCR
      GO TO 3000
  250 RE2=RER-(DRCR-APT)
      IF(RE2.LT.0.0)GO TO 252
      DER=DRCR
      RER=RE2
      GO TO 3000
  252 DER=APT+RER
      RER=0.0
 3000 WRITE(6,3001)MR,APR(LA),APT,RE2,DRCR,DER
 3001 FORMAT(1X,I4,8H     STMU,5F15.4)
 3002 MR=MR+1
      IF(MR.EQ.13)GO TO 254
      GO TO 255
  254 MR=1
      NR=NR+1
  255 RT=RT+1.0
      IF(RT.LT.PL)GO TO 271
      RETURN
      END
```

L'ÉDITEUR OFFICIEL DU QUÉBEC
SERVICE DE LA REPROGRAPHIE
Juin 1974

PRIX: $1.50